elektor

audio

special 4

ZELFBOUW VERSTERKERS EN LUIDSPREKERS

€16,50

Versterkers voor zelfbouw o.a.:

- Hybride 2 x 20 Watt iPod buizen eindversterker
- Hybride buizen/transistor eindversterker
- Storingen oplossen in buizenversterkers
- Geavanceerde 2 x 22 Watt buizen eindversterker

Luidsprekers voor zelfbouw o.a.:

- High-End compacte tweeweg luidspreker
- Transmissielijn line-array luidspreker
- Luidsprekers verbeteren met DEQX
- Acoustic Suspension luidspreker



Elektor
Audio Special 4

Het afgelopen jaar heeft de economische recessie hard toegeslagen, veel bedrijven hebben helaas, of in sommige gevallen wellicht juist gelukkig, hun deuren moeten sluiten en voor veel consumenten was het raadzaam om spaarzaam met hun inkomsten of spaarcenten om te gaan. Een bekend gegeven is dat in tijden van recessie veel mensen thuis blijven, in plaats van op vakantie te gaan, en meer tijd en geld spenderen aan hun hobby, iets wat ongetwijfeld ook geldt voor de zelfbouw audio. Met de inmiddels alweer vierde editie van de Elektor Audio Special hopen wij deze zelfbouwers weer te voorzien van een flink aantal zelfbouwontwerpen, zodat er ook genoeg interessants te bouwen valt de komende maanden. Ook dit jaar weer de inmiddels bekende mix van buizen, luidsprekers en halfgeleiders en achtergrondartikelen.

Wat luidsprekerontwerpen betreft zien we dit jaar een tweetal artikelen waarbij een DSP, digital signal processor, de functie van wisselfilter overneemt en in combinatie met gebruiksvriendelijke software met enkele muisklikken een passend wisselfilter realiseert. Belangrijk detail daarbij is dat in beide gevallen ook de kamerakoestiek meegewogen wordt en we dus op die manier de invloed hiervan op de weergave gunstig kunnen beïnvloeden. Daarnaast ook een aantal ontwerpen met een niet alledaagse driver bezetting, zoals een line array bestaande uit maar liefst zestien drivers per kant die gezamelijk het hele weergave spectrum voor hun rekening nemen.

Ook vindt u in deze Audio Special een artikel terug over het oplossen van storingen in buizenversterkers en het verhelpen van brom en andere niet gewenste bijgeluiden. Juist deze brom en bijgeluiden zijn problemen die voor veel zelfbouwers nog steeds voor de nodige hoofdbrekens zorgen. Met dit artikel hopen we duidelijkheid te scheppen en een leidraad te bieden voor de correcte opbouw van een buizenversterker. Uiteraard vindt u daarnaast ook een aantal ontwerpen voor buizeneindversterkers terug, van een hybride ontwerp met transistoren in de voortrap en buizen in de eindtrap, tot een aantal single-ended en push-pull ontwerpen van divers wattage.

Nieuw in deze Audio Special zijn een tweetal ontwerpen voor gitaarversterkers, zodat ook musici met affiniteit voor zelfbouw hun eigen gitaarversterker, met buizen welteverstaan, kunnen bouwen. Uiteraard zijn gitaarversterkers van een geheel andere categorie dan een doorsnee versterker daar er hier juist bewust vervorming en fase-verschuiving geïntroduceerd wordt om een bepaald geluid te creëeren.

De auteurs van de Audio Special, de eindredactie en Elektor wensen u veel lees-, bouw- en uiteindelijk luisterplezier met deze vierde Audio Special.

Ir. Sander Sassen
Ir. Menno van der Veen

INHOUDSOPGAVE

VERSTERKERS

LUIDSPREKERS

PRODUCTNIEUWS



Foto 1: Hybride Ipod versterker

Hybride 2 x 20 Watt

Ipod buizenversterker

DOOR SATORU KOBAYASHI JAPAN

De Japanse ontwikkelaar Satoru Kobayashi voegt gedegen buizentechniek samen met de modernste IC's die op dit moment verkrijgbaar zijn. In één klap lost hij de oude problemen van buizen stuurtrappen op. Dit resulteert in een extreem eenvoudig ontwerp dat zich onder andere goed met de moderne Ipod laat combineren.

Bij de ontwikkeling van deze nieuwe buizenversterker had ik mijzelf een aantal doelen gesteld. De belangrijkste daarvan is: we leven in een moderne tijd waarin we oude buizen gaan toepassen. Waarom combineren we niet de nieuwste vruchten van deze tijd met die oude buizentechniek? Ik wilde dat in ieder geval wel doen en dat resulteerde in een aantal opmerkelijke keuzes. De moderne IC technologie is zo ver uitontwikkeld dat we nu IC's kunnen gebruiken voor het aansturen van de eindbuizen. Ook wilde ik geen koppelcondensatoren toepassen, omdat die de kwaliteit van het geluid kunnen aantasten. Er zijn zeer breedbandige ringkern uitgangstrafo's ontwikkeld, die zich in het frequentiedomein keurig gedragen, zonder enige resonanties, zelfs als er overall tegenkoppeling wordt toegepast. Vanwege ruimtebesparing is een smoorspoel in de voeding niet op zijn plaats. Maar nu hebben we een nieuwe generatie elektrolytische condensatoren die weinig plaats innemen en waarmee we de voedingsrimpel meer dan voldoende kunnen onderdrukken. Tegenwoordig zie je dat de Ipod steeds meer als een primaire geluidsbron wordt gebruikt en er verschijnen afspeelstations waarin een Ipod geplaatst kan worden. Die mogelijkheid wilde ik bij deze versterker ook hebben.

De eindbuizen sectie

Het schema van de versterker staat in figuur 1 terwijl figuur 2 de voeding toont.

De eindbuizen zijn 2 x EL34 (Golden Dragon) in balans met kathode bias instelling. Dit bespaart de nodige onderdelen en instellingen in vergelijk met een instelbare negatieve bias instelling. De eindbuizen staan in ultra lineaire balansschakeling, gekoppeld aan de PAT-4004 (Amplimo VDV-3070pp) ringkern uitgangstrafo. De hoogspanning van de eindsectie bedraagt 430 V. De kathode bias wordt gerealiseerd met 430 Ohm weerstanden plus per buis een serieweerstand van 22 of 33 Ohm, waarmee de gelijke ruststroom per eindbuis is afgeregeld. Zoals verderop zal blijken is deze gelijkheid van ruststromen uiterst belangrijk en vertoont de door Vanderveen geïntroduceerde 100 Hz blokgolf test geen doorzakkingen. De kathodespanning bedraagt om en nabij 30 V. De stuurschakeling die verderop besproken gaat worden kan ruim 80 Vtt leveren. Voor de eindbuizen is kortstondig minimaal 60 Vtt nodig, bij langdurig uitsturen loopt dit op tot 84 Vtt vanwege de spanningsval over de kathodeweerstanden. Enige extra stuurspanning is welkom en garandeert dat de eindsectie als eerste gaat begrenzen en niet de stuursectie, zoals in een goed ontwerp ook de bedoeling is. Verderop zal blijken dat dit niet zo gemakkelijk is.

De hybride stuurtrap

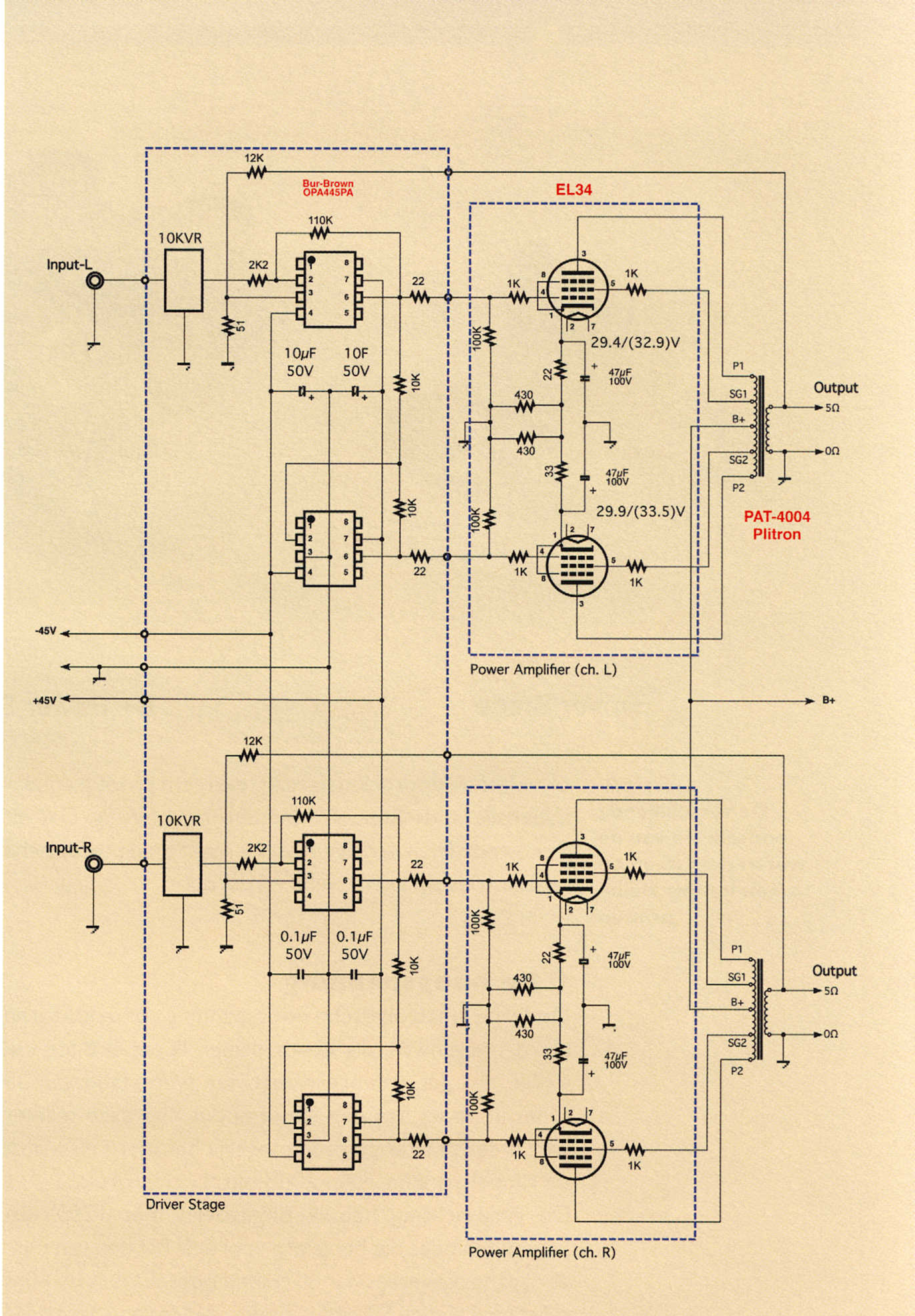
Tot nu toe werden buizen gebruikt om de grote stuurspanningen te leveren die in buizenversterkers nodig zijn. Maar tegenwoordig leven we in een andere wereld, waar "ecologisch" een toverwoord is geworden en hybride auto's voor geringe CO_2 uitstoot de markt veroveren. Waarom zouden we die ecologie en CO_2-arm niet bij deze buizenversterker gaan gebruiken? Het kan, dankzij een nieuwe hoogspanning operationele versterker die door Texas Instruments is ontwikkeld, het type OPA445PA.

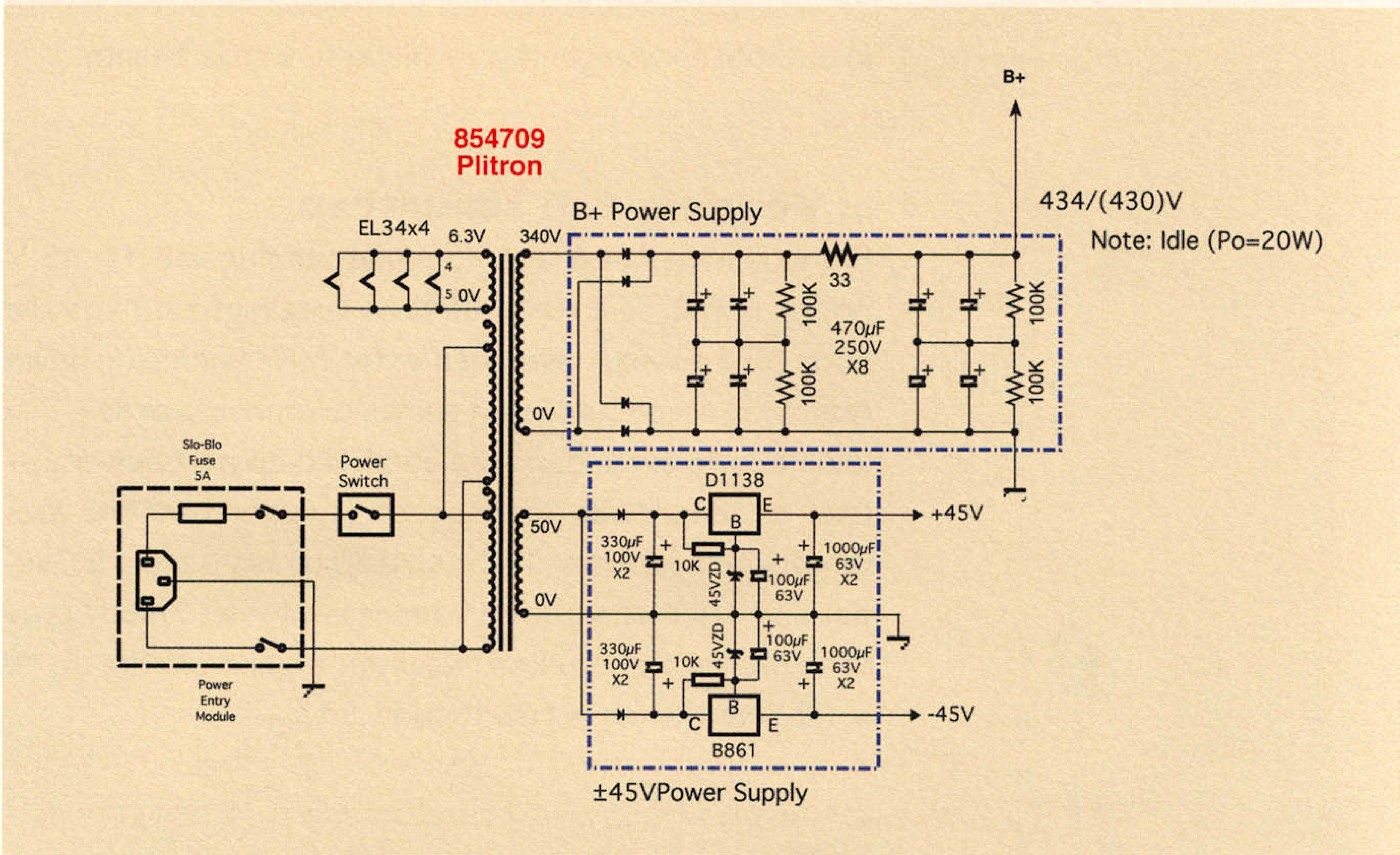
In tegenstelling tot gewone IC's die werken met voedingsspanningen van +/-12 of +/-15 V werkt de OPA445PA met voedingsspanningen vanaf +/- 45 V en kan daardoor grote stuurspanningen aanleveren. Het toepassingsgebied van dit IC ligt bij testapparatuur, hoogspanningsregelaars, data acquisitie en signaal conditionering en ook audio toepassingen zijn volledig op zijn plaats. De opamp bezit een hoge versterking (>100dB) en een uiterst breed frequentiegebied (DC-2MHz). Met deze eigenschappen hebben we een ideale voorversterker en stuurtrap beschikbaar om de eindbuizen optimaal aan te sturen.

De instelling van de versterking van deze stuurtrap gaat uiterst simpel. We maken een inverterende versterker waarbij het audio ingangssignaal via een weerstand R1 naar de inverterende ingang (pin 2) gaat. Koppelen we nu vanaf de uitgang (pin 6) via een weerstand R2 terug naar de inverterende ingang, dan is de versterkingsfactor gelijk aan R2/R1. Een tweede versterkertrap stellen we in als inverter met versterkingsfactor -1 om alzo de fasedraaiing te realiseren.

Maar hoe groot moet nu de versterkingsfactor van de stuurtrap worden? Ik heb onderzoek gedaan aan Ipod's en gemeten dat de gemiddelde uitgangsspanning 0,3 Veff bedraagt. Dit betreft niet de maximaal haalbare uitgangsspanning (volledige uitsturing van de Ipod) maar de gemiddelde effectieve spanning (meestal een factor 4 (-12dB) onder maximale uitsturing). In deze situatie is voor de stuurtrap een versterkingsfactor van 50 voldoende om de buizenversterker goed aan te sturen en nog enige reserve voor pieksignalen te hebben. Daarom heb ik R2/R1 gelijk gekozen aan 110k/2k2. Wil men meer versterking, wijzig dan de 110k bijvoorbeeld in 220k. Houdt er dan rekening mee dat het frequentiebereik van de stuurtrap in het hoog iets meer beperkt wordt.

Vanaf de luidsprekeruitgang naar de ingang is nog een klein beetje extra tegengekoppeld (12k en 51E) om de dempingsfactor en vervorming op de gewenste waardes te krijgen.



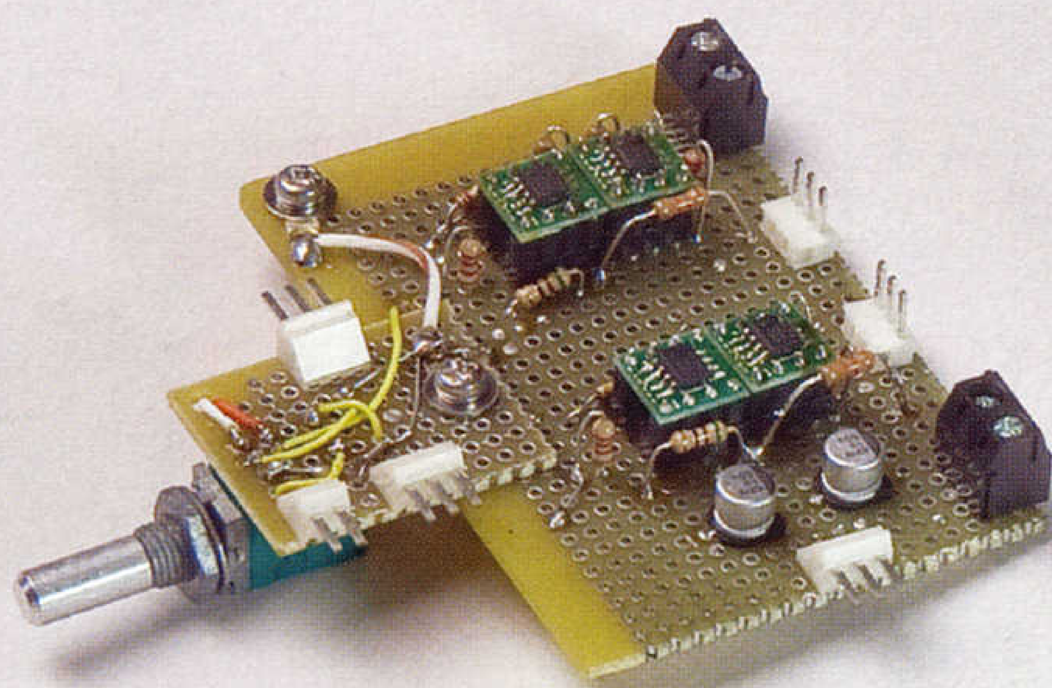


Directe koppeling

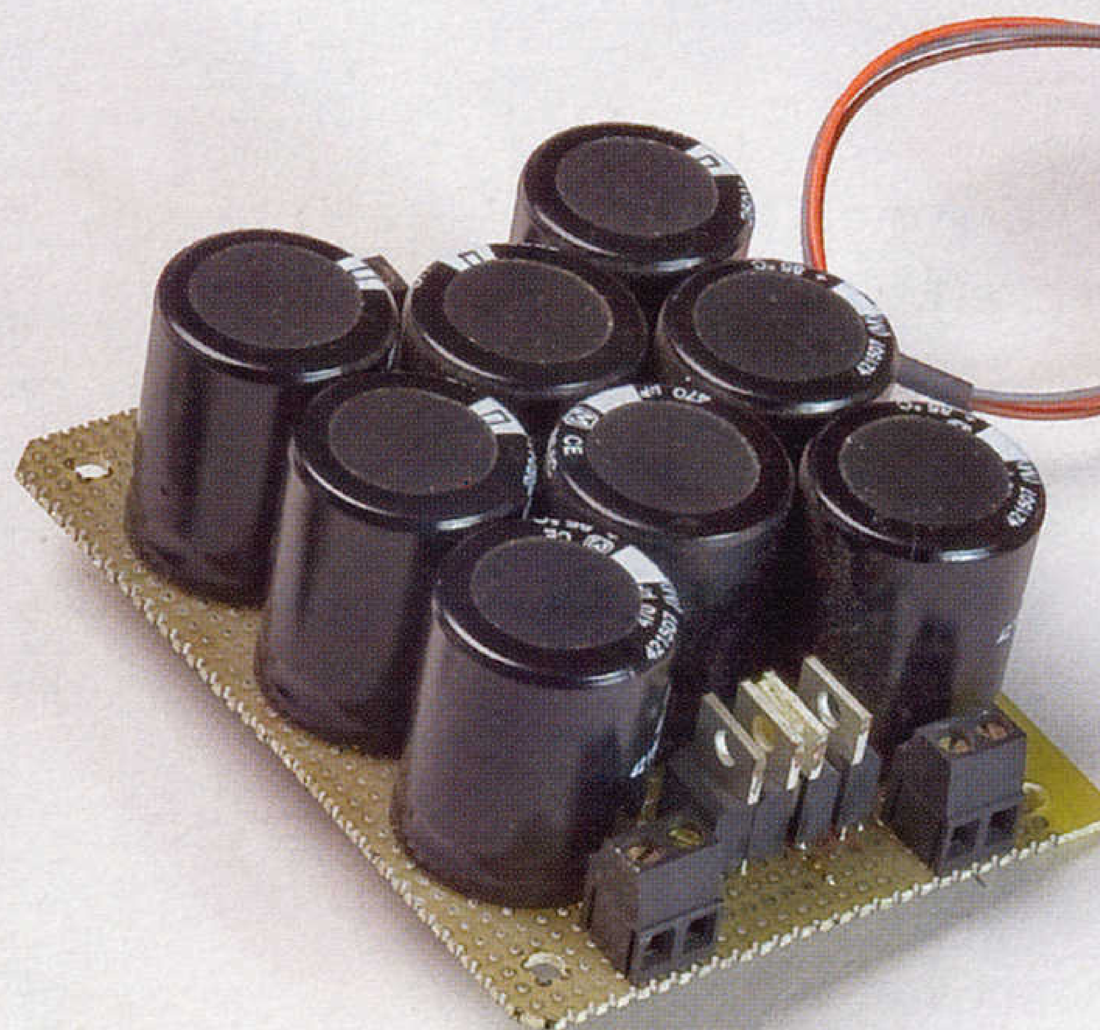
Zonder ingangssignaal staat de uitgang van de IC-stuurtrap op ongeveer 0 V gelijkspanning. Er is altijd sprake van enige offset, enkele millivolts die zo nodig met een instelpotentiometer vallen weg te regelen. De OPA445PA heeft een vergelijkbare offsetspanning. Maar laten we die nu eens vergelijken met de stuurspanning die dit IC aflevert: minstens 30.000 mV. Dan is een offset van enige millivolts verwaarloosbaar en daarom kunnen we het uitgangssignaal van de stuurtrap rechtstreeks verbinden met de stuurroosters van de eindbuizen. Dan hebben we geen koppelcondensator meer nodig en dat was ook precies de bedoeling. Nu hebben we een stuurtrap die vanaf 0 Hz (DC) tot enige honderden kHz de eindbuizen laagimpedant aansturen. Door die lage impedantie speelt de Miller-capaciteit van de eindbuizen ook geen rol meer. We hebben hiermee dus

Figuur 1:
Schema van de hybride versterker

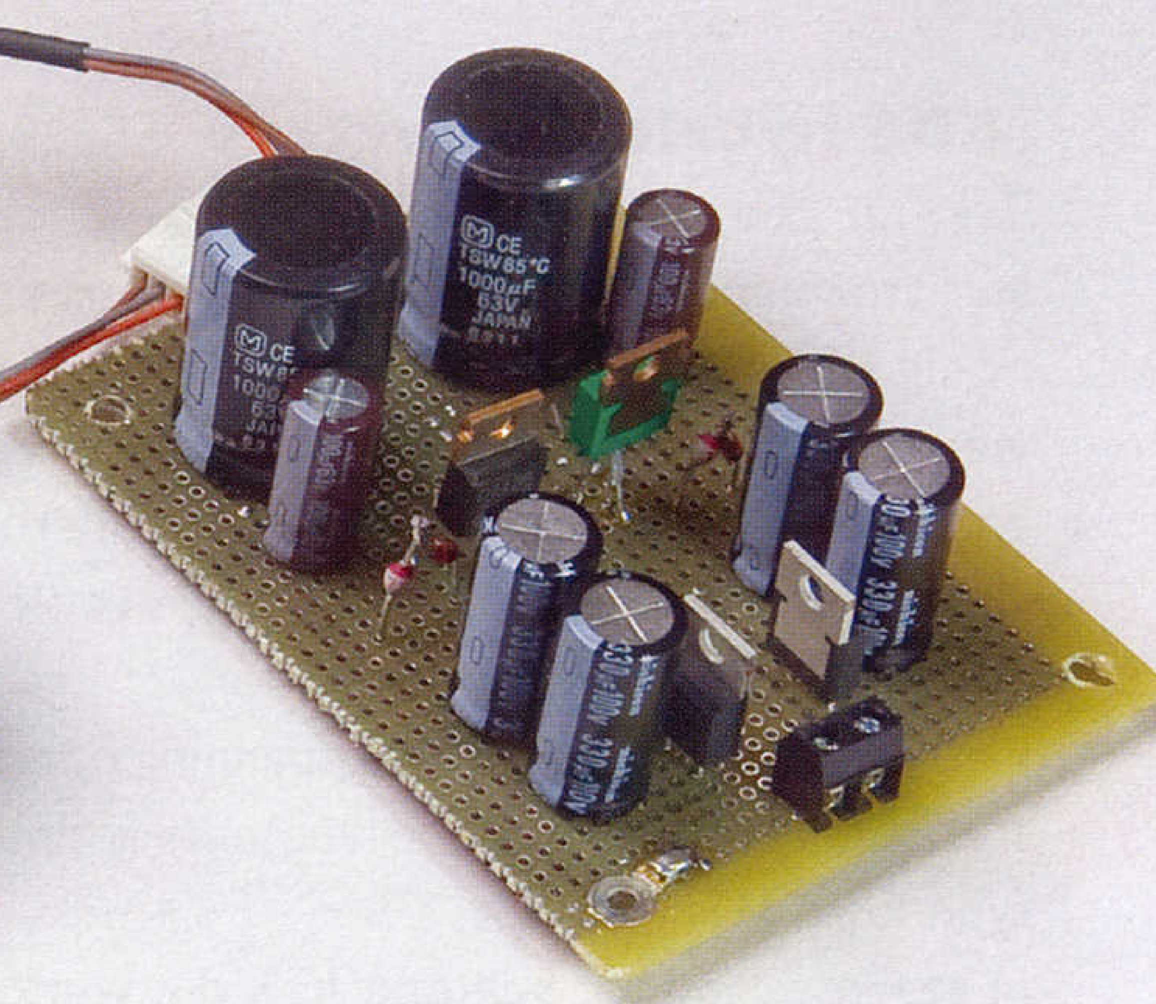
Figuur 2:
Schema van de voeding



Driver Stage



B+ Power Supply



±45V Power Supply

Foto 2:
De verschillende onderdelen van de versterker staan op afzonderlijke kleine printen

de volgende voordelen bereikt: extreem groot frequentiebereik en de koppelcondensator is afwezig. Dat dit grote voordelen in de geluidsweergave en de technische specificaties oplevert blijkt verderop.

De hoogspanning

Moderne elektrolytische hoogspanning condensatoren worden tegenwoordig steeds kleiner. Ik pas er 8 toe van 470uF elk, gecombineerd met een weerstand van 33 Ohm in plaats van een smoorspoel. Op deze manier wordt een pi-filter zo goed mogelijk benaderd en wordt de rimpelspanning ruim 20dB extra onderdrukt.
De gelijkrichting heb ik uitgevoerd met 1200V/8A Schottky diodes die het grote voordeel hebben van minder spanningsverlies dan silicium diodes. Ook is de 60ns reactietijd van de Schottky diodes vele malen sneller dan de 6ms van slilcium diodes, waardoor men zegt dat ze in audiotoepassingen beter klinken, wat ik beaam.

Voeding van stuurtrap

De stuurtrap heeft een voedingspanning van +/- 45 V nodig. Ik pas de Plitron-854710 voedingstrafo toe die voor NRS toepassingen een extra 50 V wikkeling bevat waarmee deze spanningen gemaakt kunnen worden. Een klein beetje extra bufferen en afvlakken met een transistor en zenerdiode is voldoende om uiterst schone voedingspanningen voor de stuurtrap te realiseren. In Nederland kan men voor de voedingstrafo het 7N607 type van Amplimo gebruiken, waarvan tegenwoordig de 40 V NRS-wikkeling is gewijzigd in 50 V.

Opbouw

Foto 2 laat zien dat ik de verschillende delen van de versterker op printjes van 7,5x10 cm heb gemonteerd, die ondanks de kleine versterkerkast toch gemakkelijk geplaatst kunnen worden. Een paar extra tussenverbindingen zijn nog nodig en klaar is de versterker. Hier blijkt echt de enorme eenvoud die is ontstaan door het gebruik van de IC stuurtrap plus moderne kleine hoogspanning condensatoren. De foto toont de proefprinten. Tegen de tijd dat dit artikel gepubliceerd wordt zijn de officiële printen klaar en deze kunnen bij de auteur besteld worden.

In Japan brengt mijn bedrijf "N&S inc." deze versterker als kant en klaar product OPUS-2 op de markt. Zie foto 3.

Metingen

In figuur 3 staan de belangrijkste metingen van de stuurtrap. Deze kan 90Vtt afleveren met een vervorming van 4%. Het frequentiebereik bedraagt ruim 80 kHz bij deze maximale uitgangsspanning.

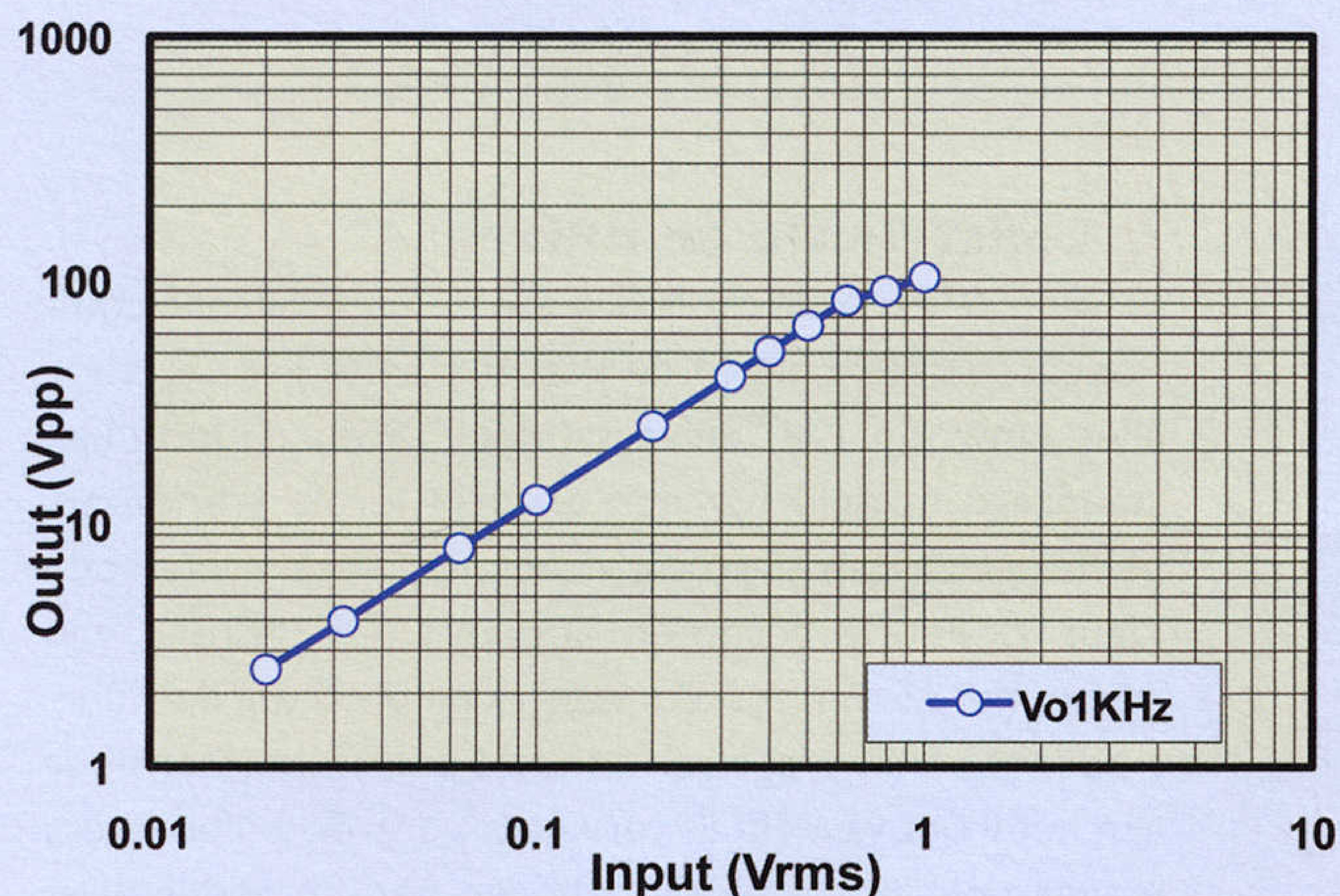
Figuur 4 toont de meetresultaten van de gehele versterker en het is uiterst interessant om die met figuur 3 te vergelijken. Wat blijkt dan? De buizen eindtrap vervormt minder dan de IC stuurtrap. Dus de eigenschappen van de gehele versterker worden in hoofdlijn door de stuurtrap bepaald. Dit wijkt toch echt af van de toepassing van een buizen stuurtrap waar meestal de buizen eind-



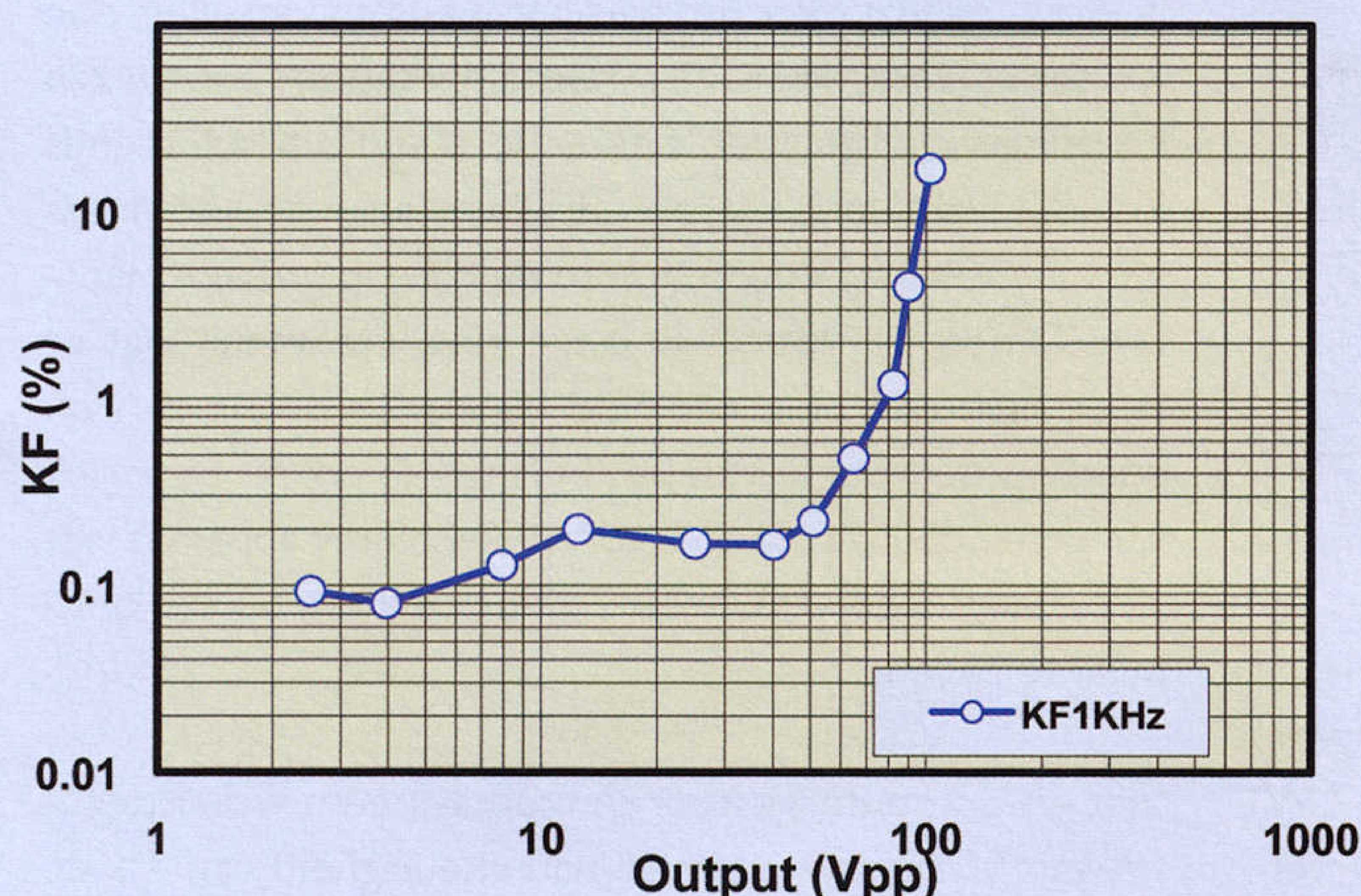
Foto 3:
Hybride Opus-2 versterker.

IC Driver Characteristics

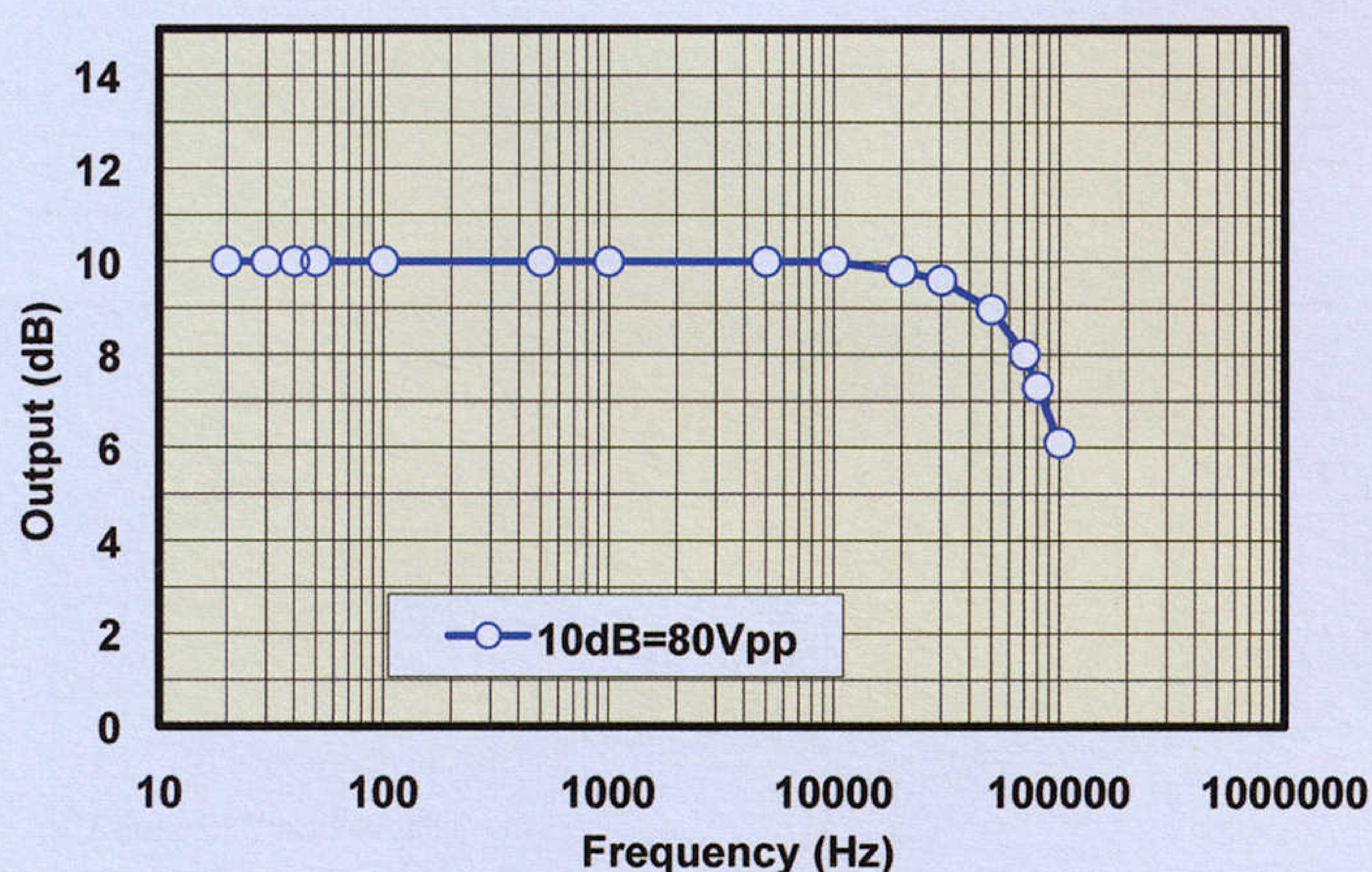
Input-Output Characteristic (Voltage Driver)



Distorsion (%) 8Ω Load 1KHz

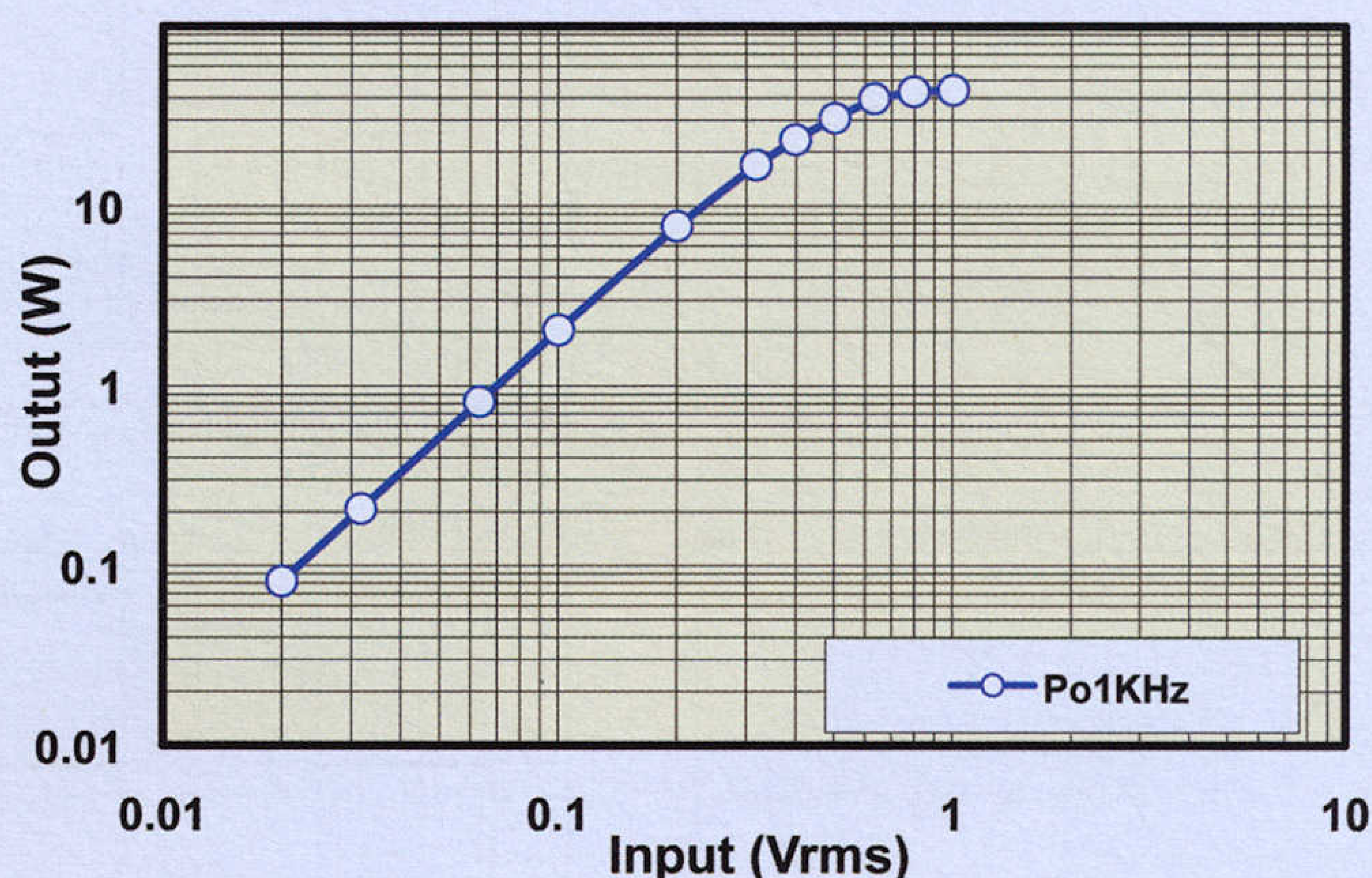


Frequency Response (8Ω Load)

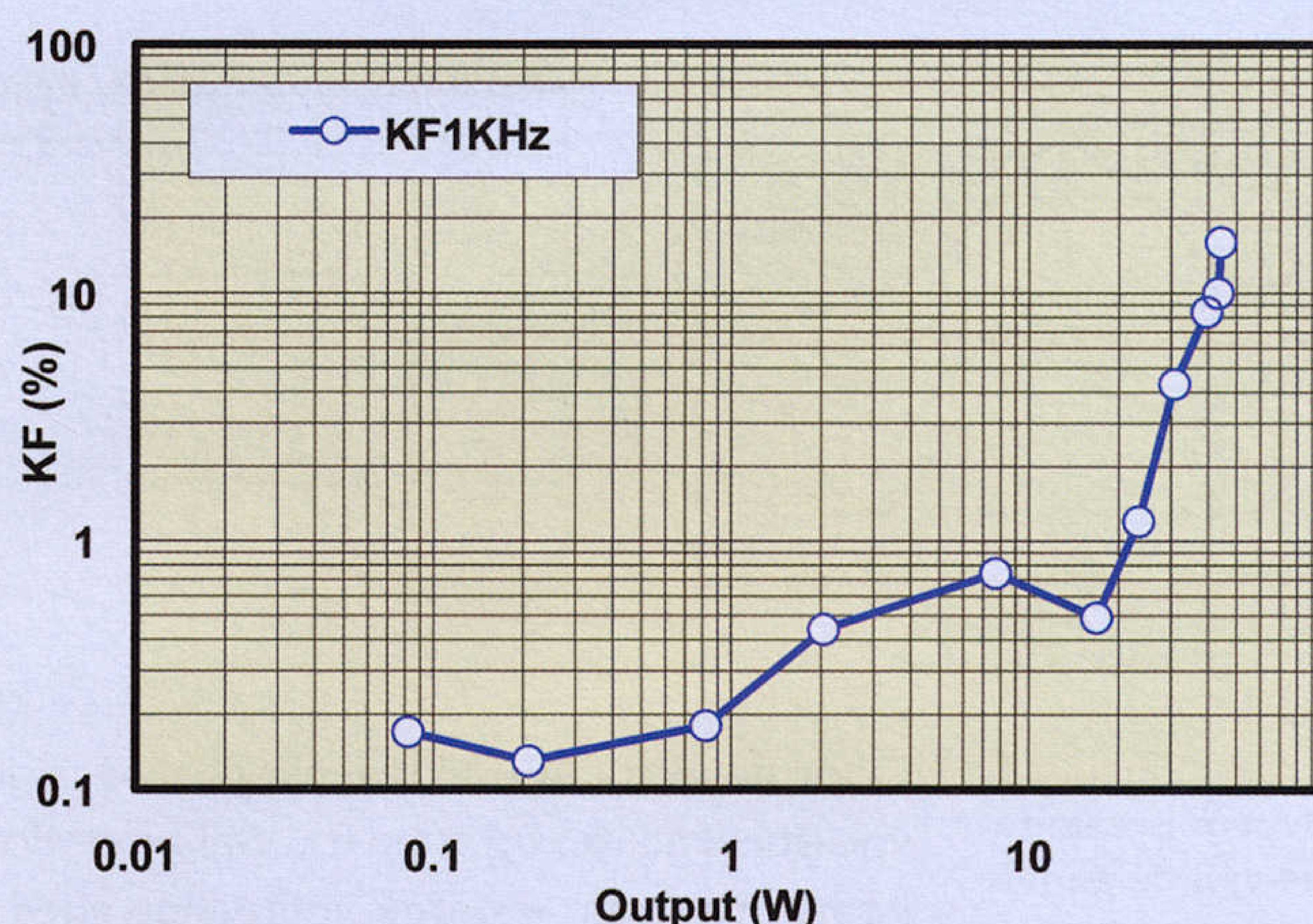


Overall Characteristics

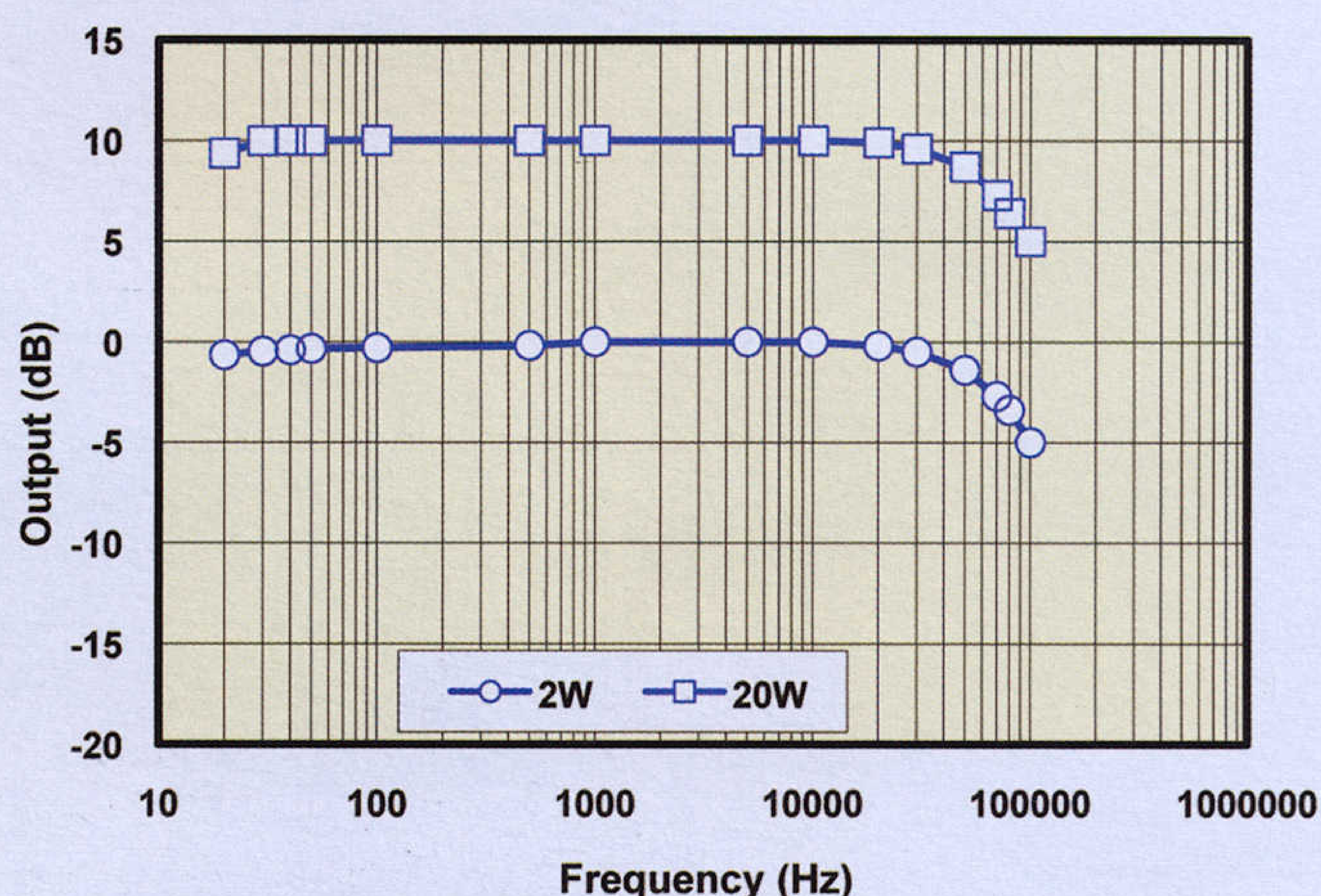
Input-Output Characteristic (8Ω Load)



Distorsion (%) 8Ω Load 1KHz



Frequency Response (8Ω Load)

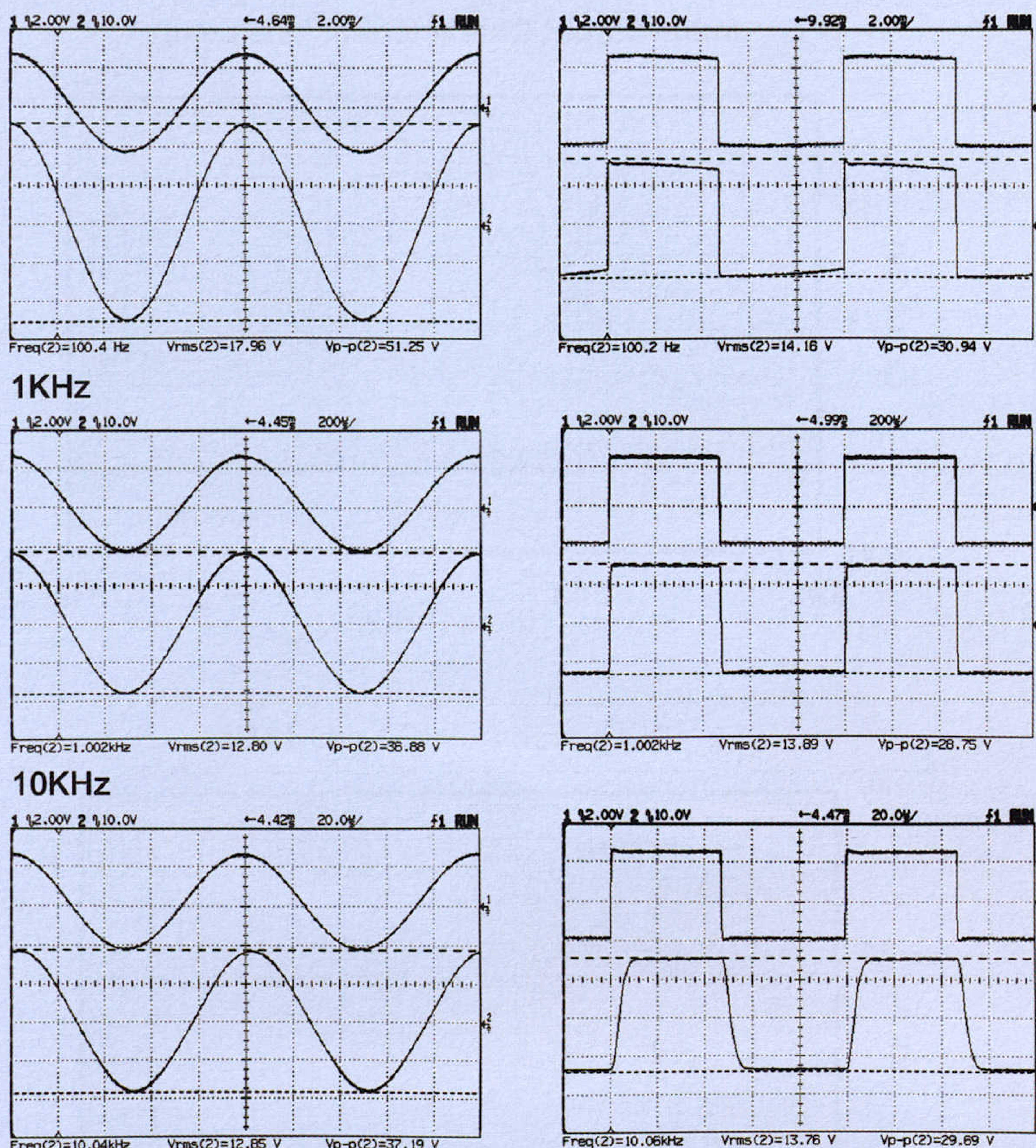


sectie de uiteindelijke vervorming bepaalt. Hieruit volgt dat het in dit IC sturingsgeval net goed gaat. Om die reden heb ik de opgave van het maximale vermogen beperkt tot 2 x 20 W (1% THD) terwijl de eigenlijke buizensectie met gemak ruim 37 W kan leveren. Dan is echter door de stuurtrap de vervorming tot meer dan 10% opgelopen, en dat is voor mij en de meeste luisteraars niet meer acceptabel.

De gedragingen in het frequentiedomein zijn goed te controleren met de weergave van blokgolf signalen. Figuur 5 toont een aantal. Let daarbij vooral op het 100 Hz blokgolf signaal wat geen enkele doorzakking vertoont. Dit is echt het goede resultaat van gelijke ruststromen en de DC koppeling tussen stuurtrap en eindbuizen. Ook de 10 kHz blokgolf vertoont geen enkele uitslingering, wat duidt op de totale afwezigheid van enige resonanties in de uitgangstransformator. Doe je deze meting met een standaard EI uitgangstransformator, dan zijn hier meestal enige uitslingeringen zichtbaar. Opnieuw is het hier opmerkelijk dat de stuurtrap de grenzen van het frequentiebereik bepaalt en niet de eindbuizen plus uitgangstrafo.

Figuur 3: Meetgegevens van de stuurtrap

Figuur 4: Meetgegevens van de eindtrap.



Figuur 5: Golfvorm presentatie van de gehele versterker.

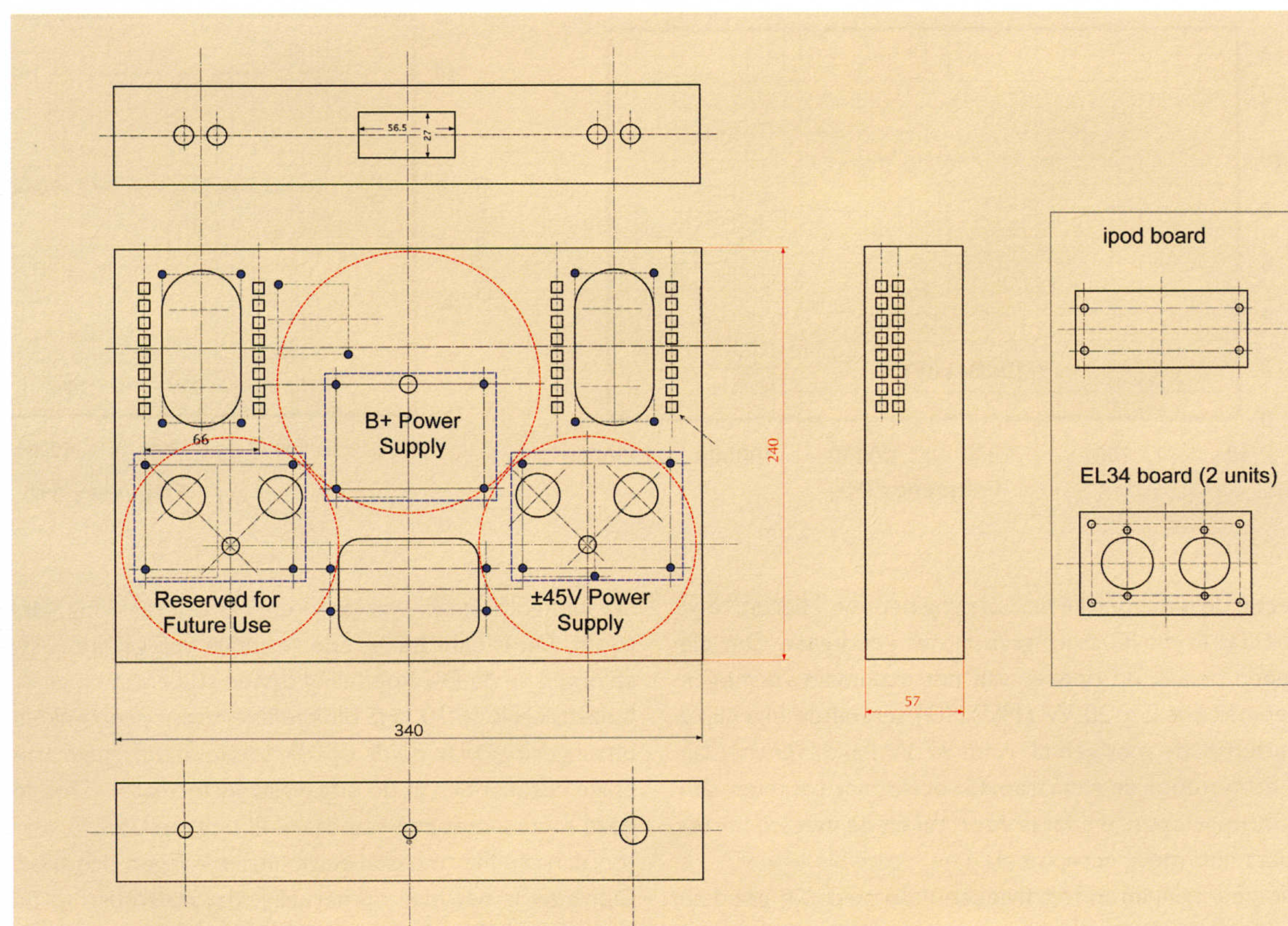
Door de extra overall tegenkoppeling is de ingangsgevoeligheid nu van 0,3 V op 0,8 Veff (voor Pmax = 37 W) komen te staan, wat ook voldoende goed is. Het vermogensbereik loopt ruim van 20 Hz tot 80 kHz, zonder dat laagfrequent de kern van de uitgangstrafo bij 20 Hz in de verzadiging gaat. De restbrom en restruis aan de luidsprekeruitgang zijn samen minder dan 2mVeff, dus enige brom is niet hoorbaar.

Constructie en buizen

In figuur 6 heb ik de opstelling van de verschillende componenten getekend. In de kast is ruimte genoeg voor alles aanwezig. De "universal dock" voor de Ipod kan standaard besteld worden en mijn locale werkplaats heeft het chassis prachtig voor mij gemaakt. De rode kleur is keurig gespoten autoverf. De printen zijn intern met 15 mm spacers vastgeklemd, terwijl de stuurtrap met volumeregelaar door de potentiometermoer aan het front vast zit. Ik verwacht voor de zelfbouwers weinig problemen bij de nabouw, een en ander wijst zichzelf.

Ik wou nog wat over het paren van buizen vertellen, hoe we dat in Japan doen. Mijn hoofdleverancier van buizen en hoogwaardige trafo's en andere audio producten is Tec-Sol Hamamatsu Japan. Zij zijn in Japan de hoofddealer van Golden Dragon buizen en Plitron transformatoren. Omdat zij door hun lange ervaring weten wat er in de high-end buizenwereld belangrijk is, zijn ze ook goed op de hoogte van het belang van correcte paring van de eindbuizen. Foto 5 toont een nieuw apparaat wat zij onlangs in gebruik hebben genomen om buizen optimaal te paren.

Met dit computergestuurde meetsysteem wordt tegelijk van 50 buizen met een nauwkeurigheid van 1% de mu-factor, de steiheid en de ruststroom gemeten en van iedere buis de karakteristieken geschreven. Op grond



Figuur 6: Het chassis.



Foto 5:
Buizentester van Tec-Sol

van deze gegevens worden de buizen gepaard en voorzien van een serienummer, zodat controle over langere gebruikstijd mogelijk is. Tec-Sol kan zo garanderen dat de paring een maximale afwijking van 5% zal vertonen, de werkelijkheid is dat binnen 1% de paring gelijk is. Geen enkele andere buizenleverancies heeft dit paringsprobleem zo grondig aangepakt en opgelost. Ik hoop dat velen dit voorbeeld van Tec-Sol zullen volgen.

Subjectieve evaluatie

Mijn high-end setup bestaat uit B&W Nautilus 802 luidsprekers, de CD-speler is van Tascam, een AKM-4396 multi-bit DAC; zowaar een niet mis te verstane referentie geluidsinstallatie, die ik in de loop van vele jaren zorgvuldig heb opgebouwd. De Opus-2 versterker voelt zich in deze omgeving goed thuis. Opvallend is het krachtige en schone geluidsbeeld. Het lijkt sterk op dat van een transistorversterker, zo gecontroleerd klinkt het. Toch is het specifieke doorzichtige en natuurlijke van de buisklank behouden gebleven. Deze versterker plaatst zich dus tussen de transistor en de ouderwetse buisversterkers, zoals op grond van zijn hybride karakter ook te verwachten was.
Klassieke muziek wordt breder en dieper weergegeven en de lage frequenties zijn echt krachtig genoeg. Bij bigband muziek valt op hoe dynamisch de versterker is. Zangstemmen zijn uiterst detailrijk en levendig, vooral bij vrouwenstemmen valt op alsof ze echt in de luisterruimte aanwezig zijn.
Deze versterker opent nieuwe benaderingen van gecombineerde technieken, het goede van de halfgeleiderwereld en de buizenwereld worden gekoppeld. Gaat men voor subjectieve kwaliteit, dan is de Opus-2 zeker een winnaar. Gaat men voor maximum onvervormd vermogen, dan heeft de stuurtrap nog wat extra aandacht nodig. Maar hoort u het verschil tussen 20 of 40 Watt? Ik niet, want mijn oren zijn gelukkig nog heel en niet platgewalst door te luide weergave.

Parts List

Driver stage

Component	Specification	Qty
IC	OPA445PA(TI-Burbrown)	4
Resistor	22Ω 1/4W Carbon	4
Resistor	51Ω 1/4W Carbon	2
Resistor	2.2kΩ 1/4W Carbon	2
Resistor	10KΩ 1/4W Carbon	4
Resistor	12KΩ 1/4W Carbon	2
Resistor	110KΩ 1/4W Carbon	2
Capacitor	10μF 50WV Electrolytic	2
Capacitor	0.1μF 50WV Ceramic	2
IC Socket	8pin DIP	8
Volume	10KΩ 15A, Alps RK097 series	1
PCB	Universal PCB, 10mil pitch through-hole, 1.6mm thick	1

Power amplifier stage

Component	Specification	Qty
Vacuum tube	EL34 Golden Dragon pair tube (Tec-sol selected)	2
Resistor	1KΩ 1/2W Carbon	4
Resistor	1KΩ 3W Metal Oxide	4
Resistor	100KΩ 1/2W Carbon	4
Resistor	22Ω 5W Cement	2
Resistor	33Ω 5W Cement	2
Resistor	430Ω 10W cement	4
Capacitor	100μF 100V	4
Capacitor	0.22μF 630V Film	4
Valve Socket	US 8 pin QQQ	4
Output Transformer	PAT-4004, Plitron	2

B+Power supply

Component	Specification	Qty
Power Transformer	Plitron 854710	1
Diode	RHRP8120, Fairchild 1200V 8A	4
Capacitor	470μF 250V, Panasonic	8
Resistor	33Ω 5W Cement	1
PCB	Universal PCB, 10mil pitch through-hall, 1.6mm thick	1
Pin Terminal	Welnermuner	3

±45V power supply

Component	Specification	Qty
Diode	Silicon 200V 1A or 10D1 equivalent	2
Transistor	2SD1138 Hitachi, Vcbo=200V, Vceo=150V, Ic=2A	1
Transistor	2SB861 Renesas (Previously Hitachi), Vcbo=-200V, Vceo=-150V, Ic=-2A	1

Capacitor	330μF 100WV	4
Capacitor	100μF 63WV	2
Capacitor	1000μF 63WV	2
Resistor	10KΩ 1/4W Carbon	2
Zener Diode	12V 1W Hitachi	2
Zener Diode	33V 1W Hitachi	2
PCB	Universal PCB, 10mil pitch through-hole, 1.6mm thick	1
Pin Terminal	Welnermuner	3

Miscerllaneous

Component	Specification	Qty
Power Entry Module	120V/250Vac, 10A, 50~60Hz, UL, CSA, VDESpec, Corcom, PS0S0SBX0	1
Chassis	320x220x60mm Custom made	1
Metal Knob	36ϕ Stainless steel Custom made	1
Spacer	3φ15 mm long	20
Pilot lamp	12V High Bright Blue LED	1
Universal Dock	Apple	1
Speaker terminal	Taiwan made	2

referenties

1) trafo's: www.amplimo.nl en www.plitron.com
2) Tec-Sol: www.tec-sol.com
3) Voor vragen en opmerkingen: n_koba@kb4.so-net.ne.jp
4) bestelling PCB's, neem contact op met n_koba@kb4.so-net.ne.jp



Afbeelding 1:
De omgebouwde K4000. De afdekplaat van de versterkerbak is voor een verbeterde koeling "op pootjes" gezet.

Geavanceerde 2 x 22 Watt Buizen Eindversterker

DOOR HENK DUISTERMAAT

Dit artikel beschrijft hoe een bestaande eindversterker omgebouwd wordt tot een totaal nieuw ontwerp met uitzonderlijke fasedraaier en stuurtrappen terwijl bij de eindbuizen kathode tegenkoppeling wordt toegepast en de ruststromen via autobias worden bewaakt.

In juli 1991 kocht ik, uit onvrede met de transistor eindtrappen van toen, een Velleman K4000 buizeneindversterker bouwdoos in de hoop dat "eens en voor al" die onvrede zou wegebben. Al eind mei '92 knalde één van de 4 brugdiodes voor de +400V voeding er uit. Het herstel ervan is door de jaren heen uitgelopen op een compleet herontwerp van de gehele versterker. Daarvan bleven eigenlijk alleen de oorspronkelijke kast en de voedingstrafo nog over, de rest werd nieuw ontwikkeld. Nu wordt er gebruik gemaakt van ringkern uitgangstrafo's met kathode tegenkoppeling (VDV2100/CFB/H), bijzondere ECL82 buisjes verzorgen de fasedraaiing en uitsturing, terwijl de ruststromen met de Tentlabs/ Vanderveen autobias unit worden bewaakt.

Oorspronkelijke voeding

Vanuit de historie bezien is het voor de beschrijving van de ombouw logisch met het voedingdeel te beginnen. Het Velleman K4000-ontwerp blinkt uit door eenvoud.

Ombouw van de hoogspanning

Afbeelding 3 toont het schema van de nieuwe hoogspanningsvoeding. De oorspronkelijke bruggelijkrichter, bestaande uit de vier 1N5408 diodes D6-9 waarvan D6 vroegtijdig overleed, is nu vervangen door een zware brugcel D10XB60H22 (600V/2,9A; Ifsm=170A). Een ontstoorfilter en een snelle zekering 1,6A/S gaan nu de brugcel vooraf. Via een 1e relais Ry1 worden het ontstoorfilter en de brugcel na ongeveer 40 seconden aangesloten op de 300V wikkeling van de voedingtrafo. De bufferelco's C7-10 worden via een NTC van 500 Ohm met 10 seconden vertraagd opgeladen. Daarna sluit Ry2 de NTC kort zodat het volle hoogspanningsvermogen beschikbaar is.

In mijn vroegere werk op de beeldbuizenfabriek van Philips heb ik uit ervaring geleerd dat het vertraagd op-

starten van voedingen de levensduur van de apparatuur sterk verlengd. Het duurt natuurlijk langer voor de boel bedrijfsklaar is, en nog wat langer sinds AUTOBIAS is ingebouwd. Maar wat zijn 2 minuten als je uren gaat genieten? Nog belangrijker is dat sindsdien geen elco of buis of brugcel meer is gesneuveld!

De relais vertragingsschakeling wordt afgebeeld in figuur 4 en wordt gevoed uit een extra 7V trafo. Deze schakeling kan pas actief worden als de negatieve roosterspanningen -VR en -VL op de oorspronkelijke versterkerprint gedetecteerd zijn om de eindbuizen te beschermen. Later is de autobias schakeling toegevoegd die de negatieve roosterspanningen levert. Dan moet de -85V spanning van de autobiasvoeding bewaakt worden.

Gloeispanning en Netzekering

Ook de 6,3V gloeispanning wordt nu via een NTC van 1 Ohm op de gloeidraden losgelaten. Hierdoor wordt voorkomen dat de gloeidraden bij inschakelen te hel oplichten, wat de levensduur ervan verkort.

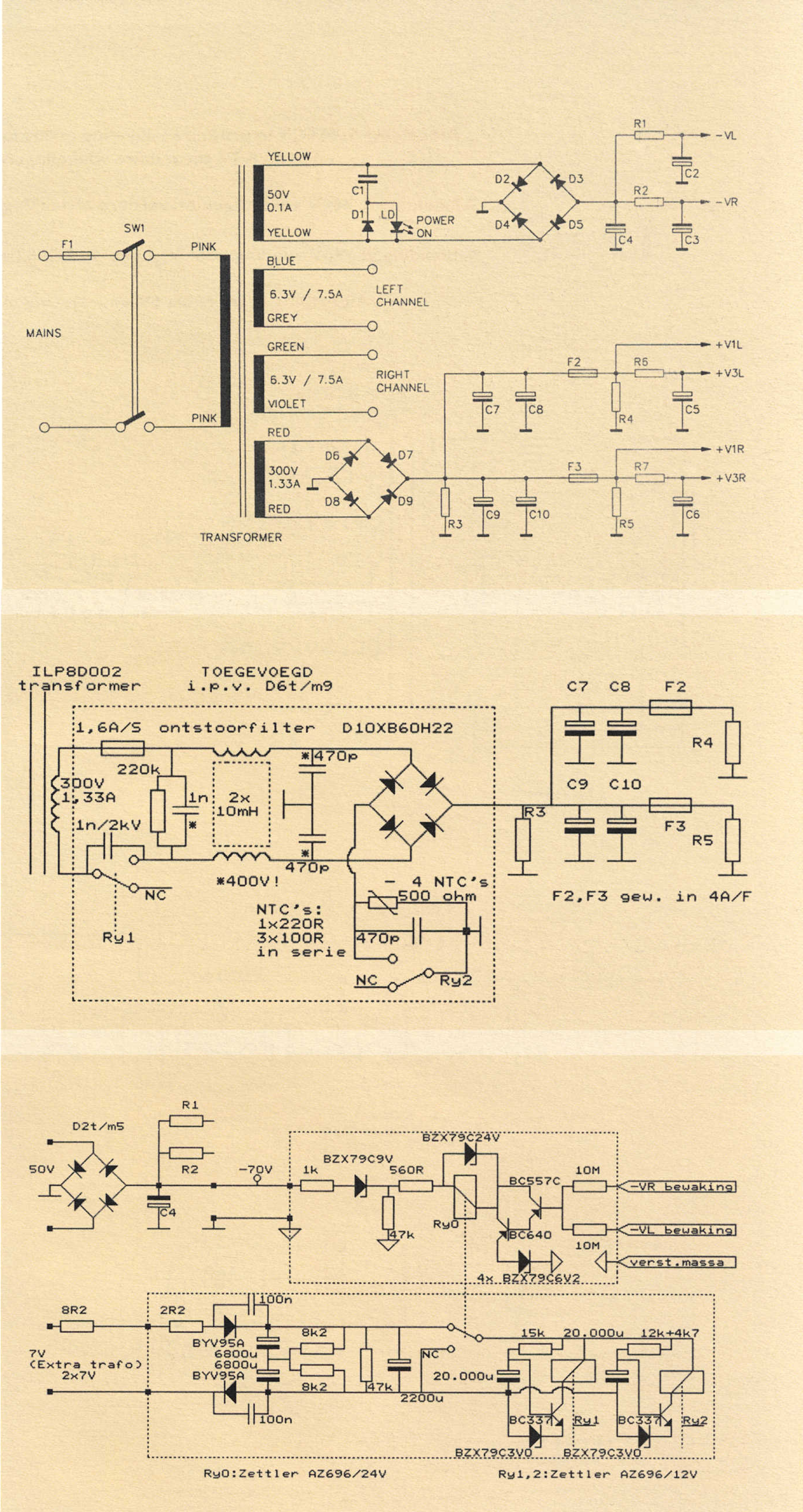
Voor de netzekering F1 werd oorspronkelijk door Velleman een 5A type gebruikt, wat mijns inziens geen bescherming biedt. Er is dan meer dan 1kW kortsluitvermogen nodig om de boel af te schakelen, wat te lang duurt zeker als de zekering een traag type is.

Om hoge inschakelstromen te voorkomen is nu een NTC van 100 Ohm in serie met de primaire wikkeling geschakeld. Als beveiliging voldoet dan een 2A traag zekering. Bovendien is de netschakelaar nog tegen inbranden van de schakelcontacten beschermd met 2 netspannings condensatoren van 100nF. Ondanks de tussentijds ingevoerde verhoging van de reguliere netspanning van 220V naar 230V, terwijl de oorspronkelijke ILP voedingstrafo was gedimensioneerd voor 220V, is sindsdien nooit iets kapot gegaan.

400V zekeringen en afvlakking

Omdat de zekeringen F2 en 3 op de oorspronkelijke voedingprint moeilijk bereikbaar zijn, zijn deze vervangen door een 4A type (om nooit stuk te gaan!). Extra zijn twee 1A/T zekeringen toegevoegd en bereikbaar in de versterkerbak geplaatst.

Voor buffering en afvlakking van de voeding van de eindbuizen worden 330uF/450V elco's gebruikt (+V1). De hoogspanning voor de voortrap (+V3) wordt extra afgevlakt met de schakeling rondom de hoogspanningstransistor BY458. Oorspronkelijk werd V3 in de Velleman schakeling niet beveiligd. Dat is onhandig als je met je experimenten "even een foutje maakt". Daarom is er een extra "overstroom beveiliging" bedacht. Bij overschrijding van een drempelstroom van ca. 20mA wordt met behulp van een relais en een weerstand van 1M de voortrap van de 400V afgekoppeld en afgekoppeld gehouden. Deze benadering leek mij beter dan bijvoorbeeld een 50mA zekering met een elco daarachter. Die elco kan namelijk door zijn oplaadstroom binnen de kortste keren een 50mA zekering opblazen en dat wordt in de nieuwe schakeling voorkomen.



Nieuwe 190V voeding

De nieuwe fasedraaier en stuurtrap worden verderop besproken. De aldaar toegepaste ECL82 heeft een constante voedingsspanning van Vg2 = +190V nodig voor zijn schermrooster. Schakeling 7 laat zien hoe die spanning met twee transistoren BUT12AF uit de oorspronkelijke +400V wordt afgeleid.

Extra 6V voorzieningen

Voor het voeden van een statusmonitor die aangeeft wanneer de versterker bedrijfsklaar is, is een 7V wikkeling van een toegevoegde ringkerntrafo 2x7V/5VA

Afbeelding 2:
Het schema van de oorspronkelijke Velleman K4000 voeding

Afbeelding 3:
Vertraagd inschakelen 400V voeding

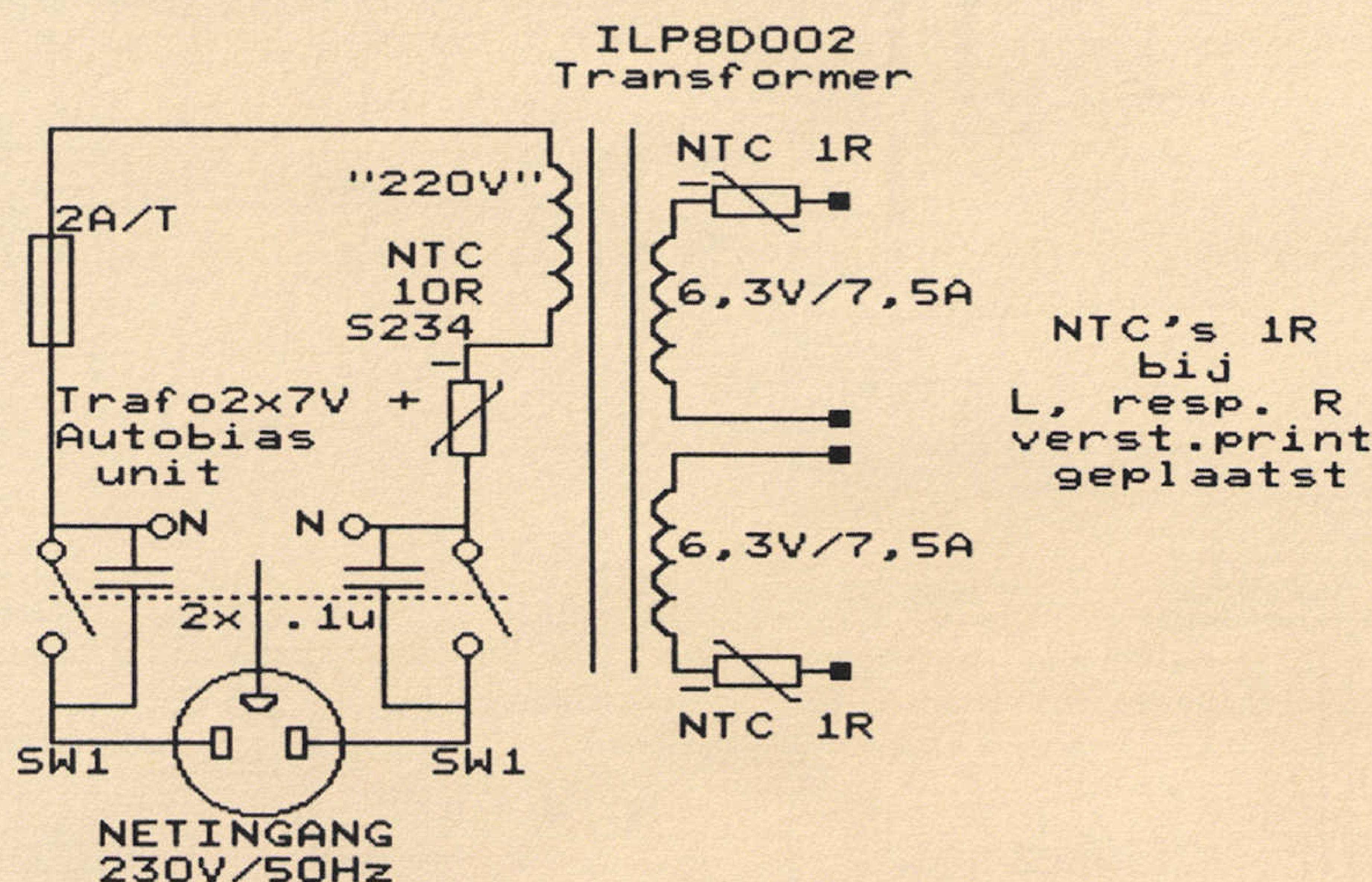
Afbeelding 4:
VR resp. -VL bewaking; vertraagd inschakelen van +400V

Afbeelding 5: NTC's in primaire wikkeling nettrafo en in de 6,3V secundaire wikkelingen

Afbeelding 6: 400V zekeringen en verdere afvlakking

Afbeelding 7: 190V voeding voor Vg2 van de ECL82's

Afbeelding 8: De extra 6V-voorzieningen



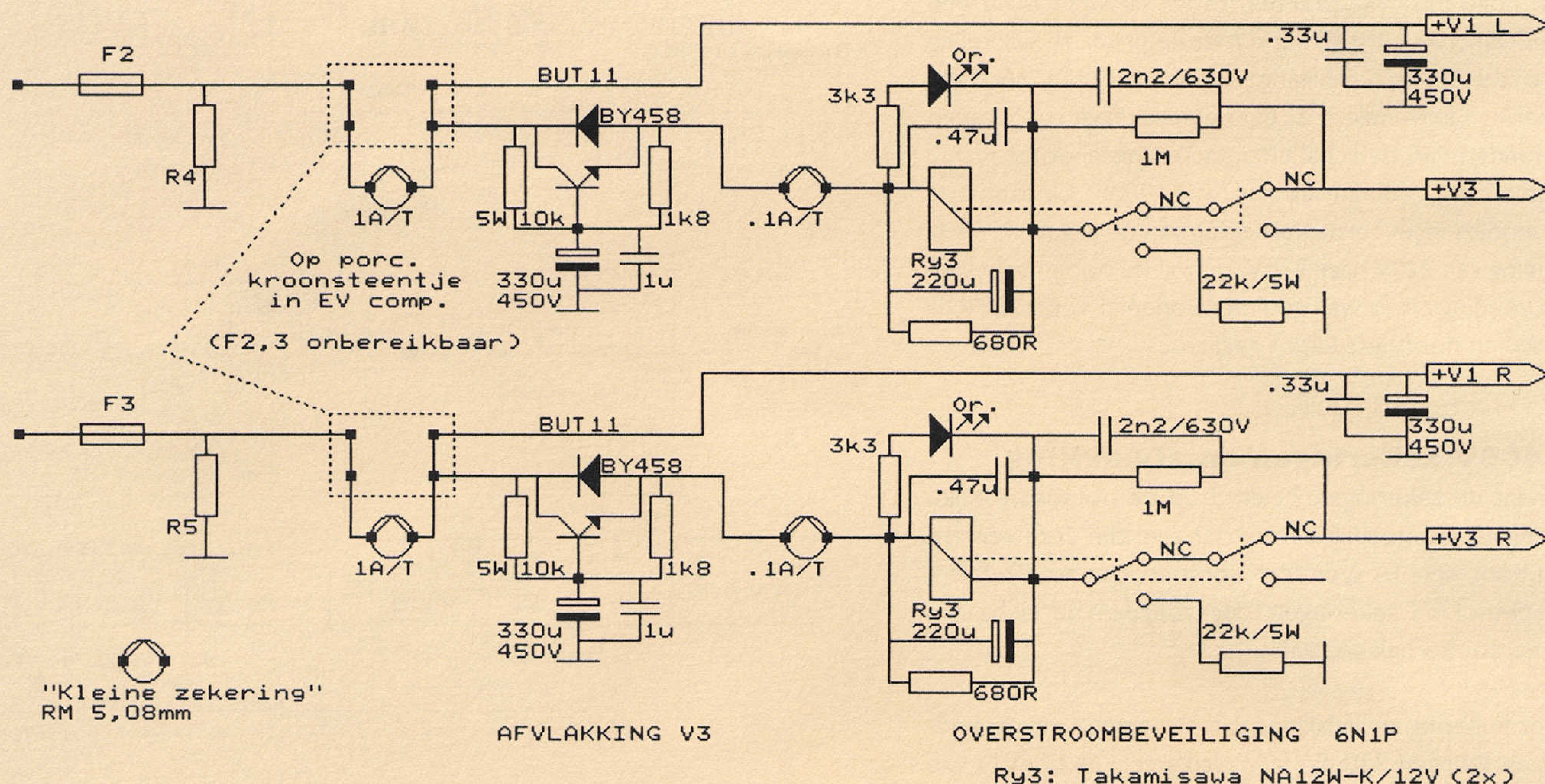
gebruikt. Na gelijkrichting en buffering wordt de spanning op +6V gestabiliseerd en naar de monitor gevoerd. Deze hulptrafo voedt ook de relaisschakeling van afbeelding 4 voor de tijdvertraagde inschakeling van de +400V anodespanningen.

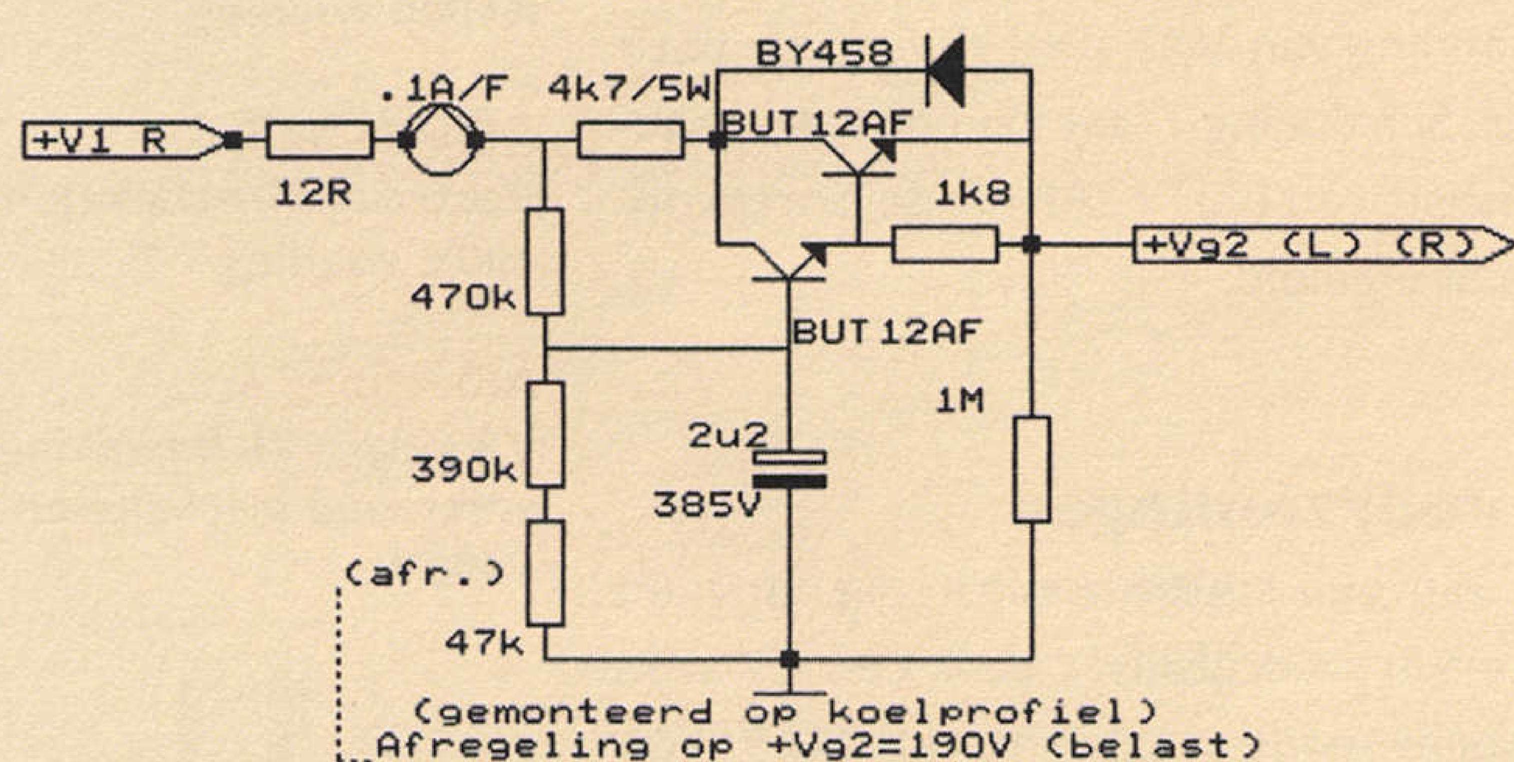
Statusmonitor

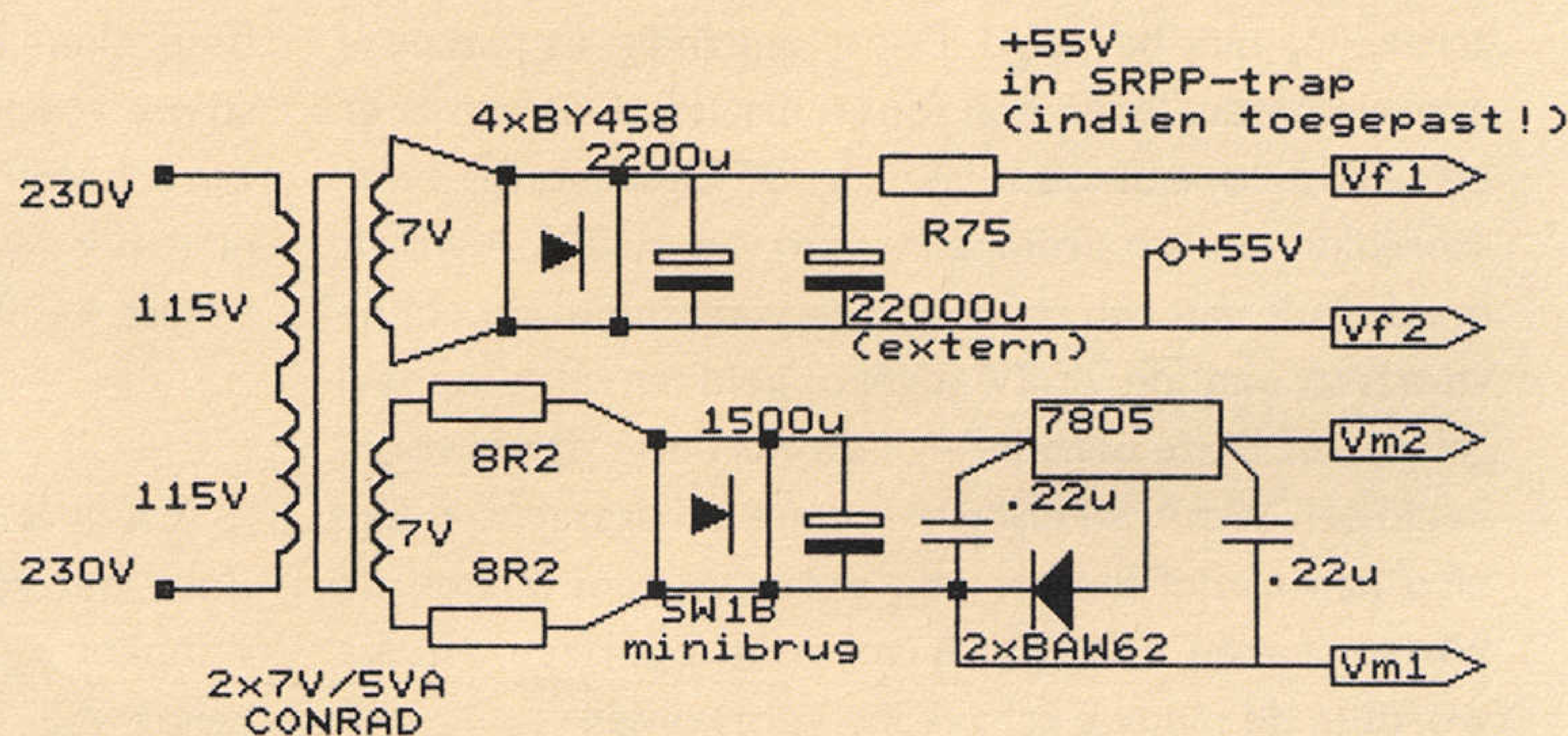
Normaliter gebruikt men op het frontpaneel een lampje om aan te geven dat de netspanning is ingeschakeld. Maar dat betekent in deze versterker nog niet dat deze bedrijfsklaar is, omdat de nodige voedingsspanningen vertraagd inschakelen. Daarom is de schakeling van de statusmonitor ontwikkeld. Deze signaleert dat de versterker na de nodige wachttijd bedrijfsklaar is.

Ten gevolge van de verderop besproken autobias schakeling zijn de ECL82 stuurbuizen later bedrijfsklaar dan de KT88 eindbuizen. Daarom wordt in de statusmonitor alleen gekeken naar de kathodespanning van de ECL82-pentodesecties en wordt gemeten of die de vereiste waarde heeft bereikt. Met de 15 turns 50 kOhm trimpot kan het omschakelpunt van de statusmonitor ingesteld worden.

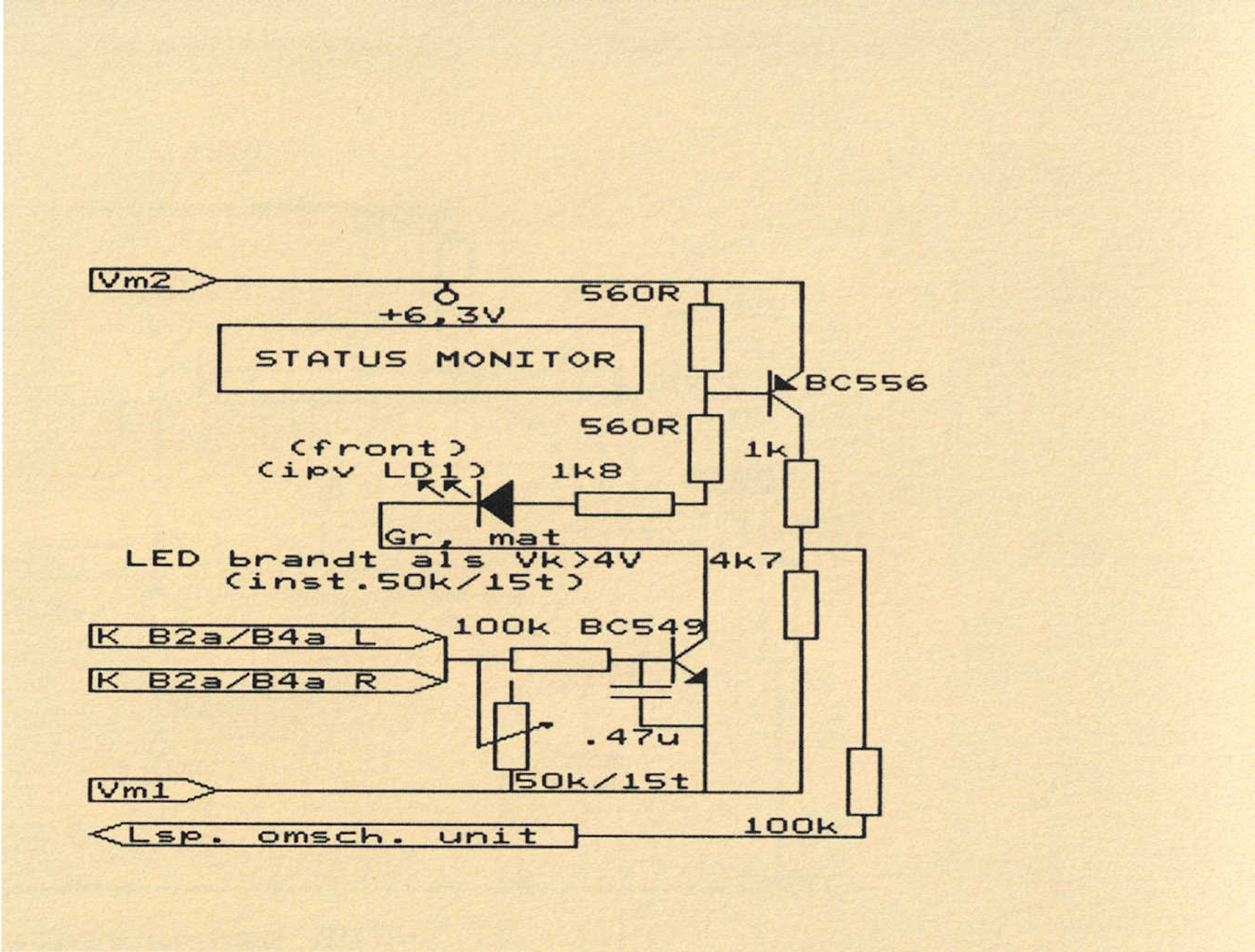
De statusmonitor levert extra ook een schakelsignaal voor een externe Luidspreker Omschakel Unit. De luid-





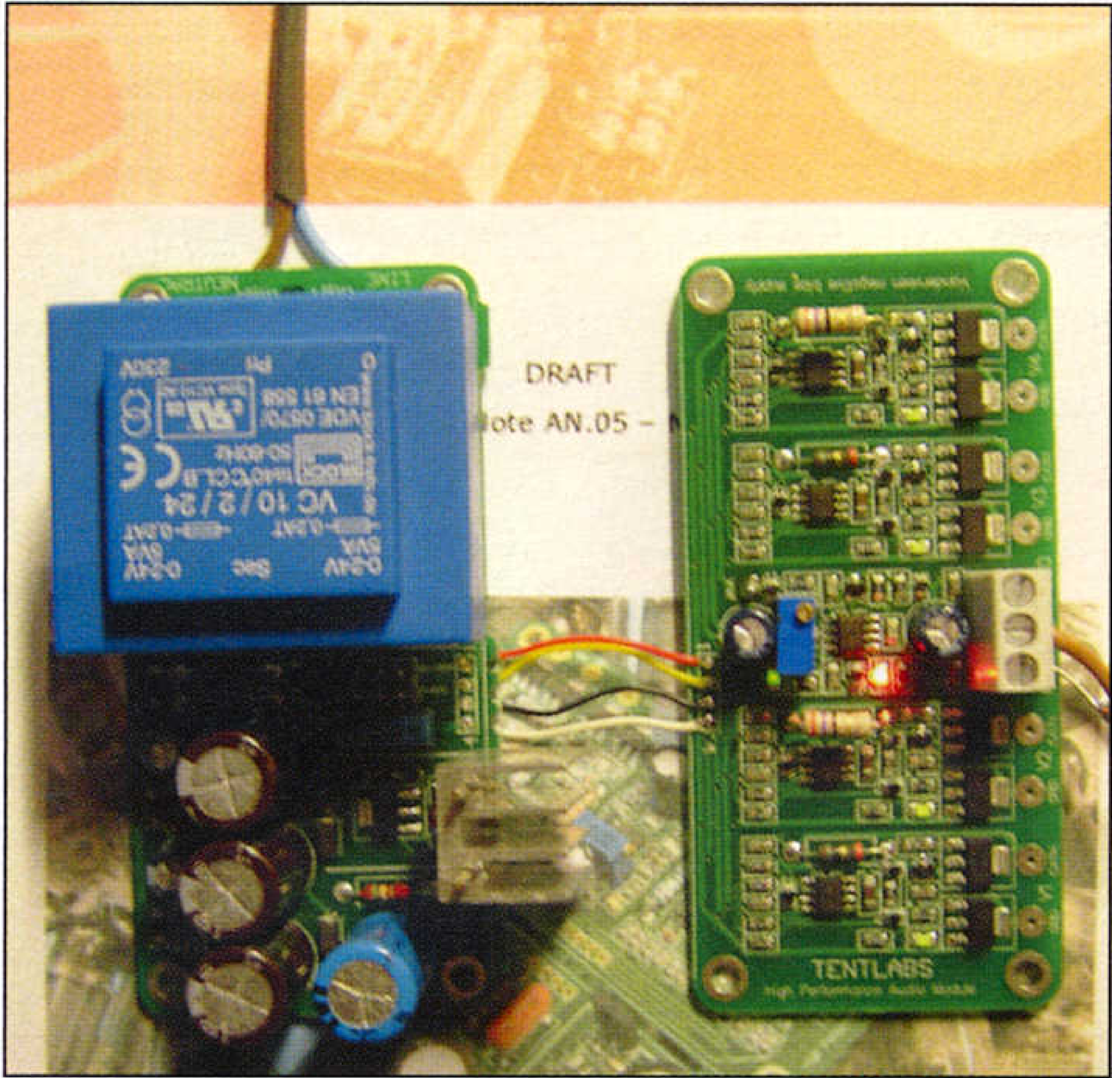


sprekers worden dan automatisch ingeschakeld als de eindversterker bedrijfsklaar is.

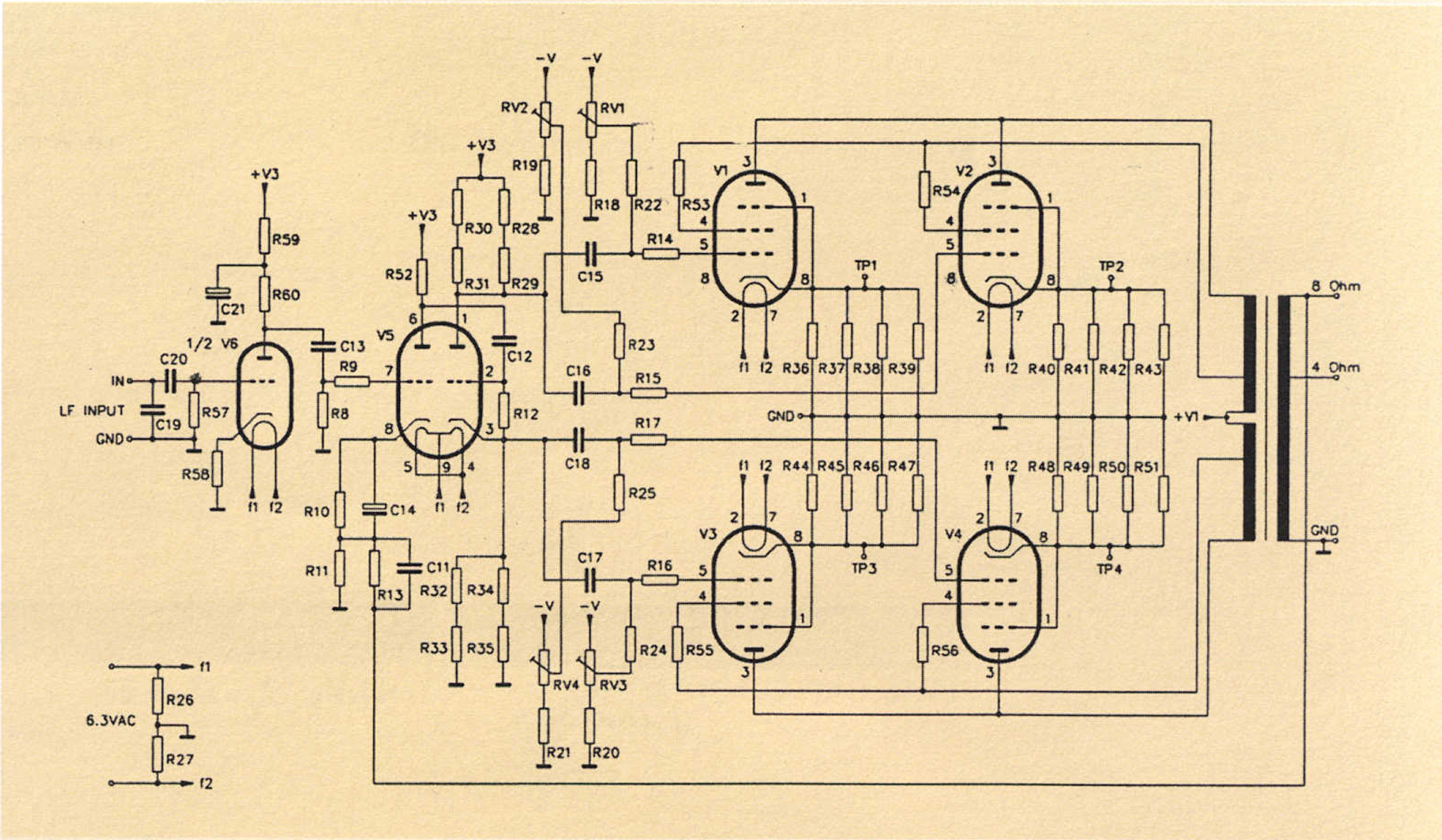


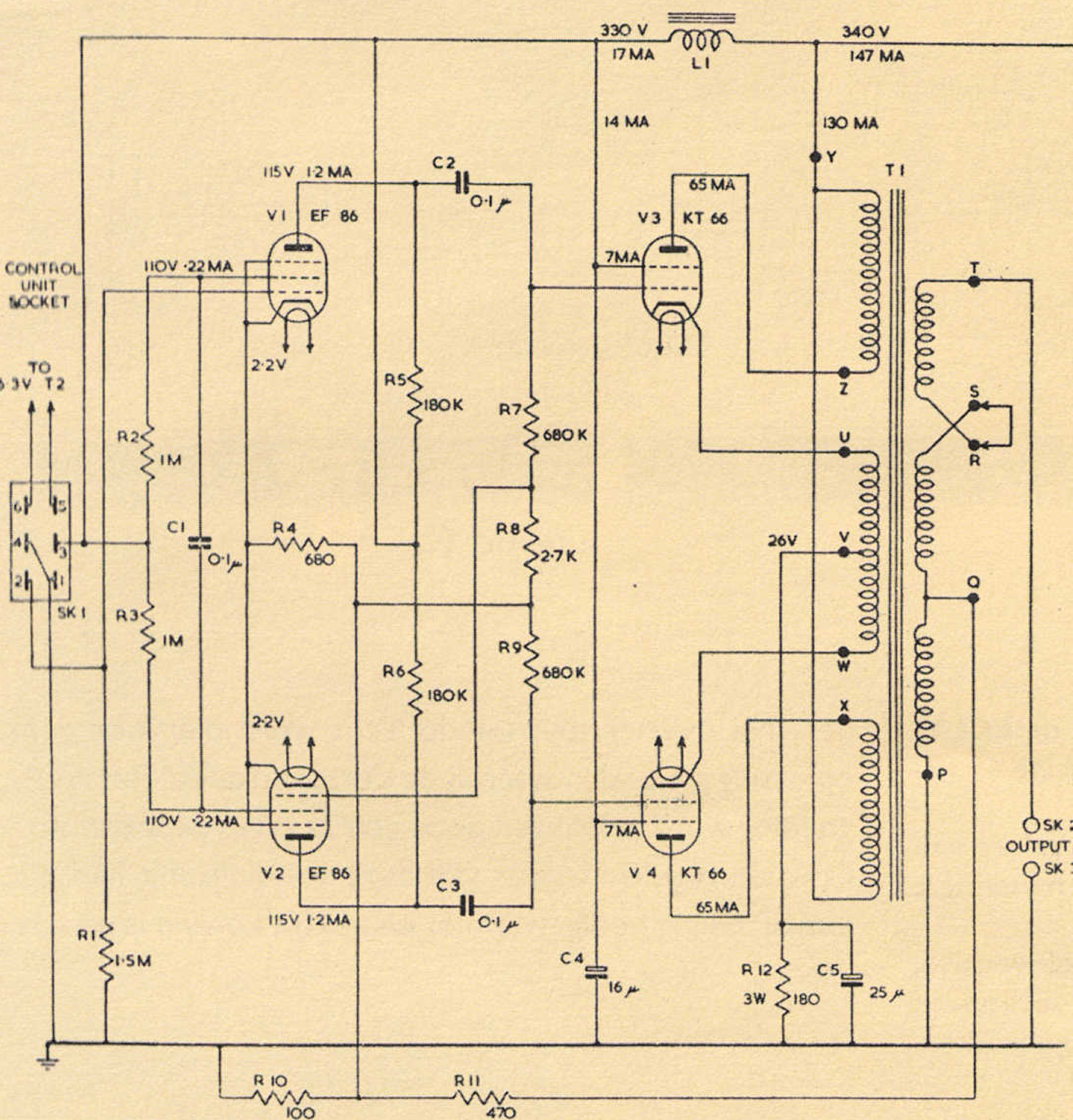
AUTOBIAS

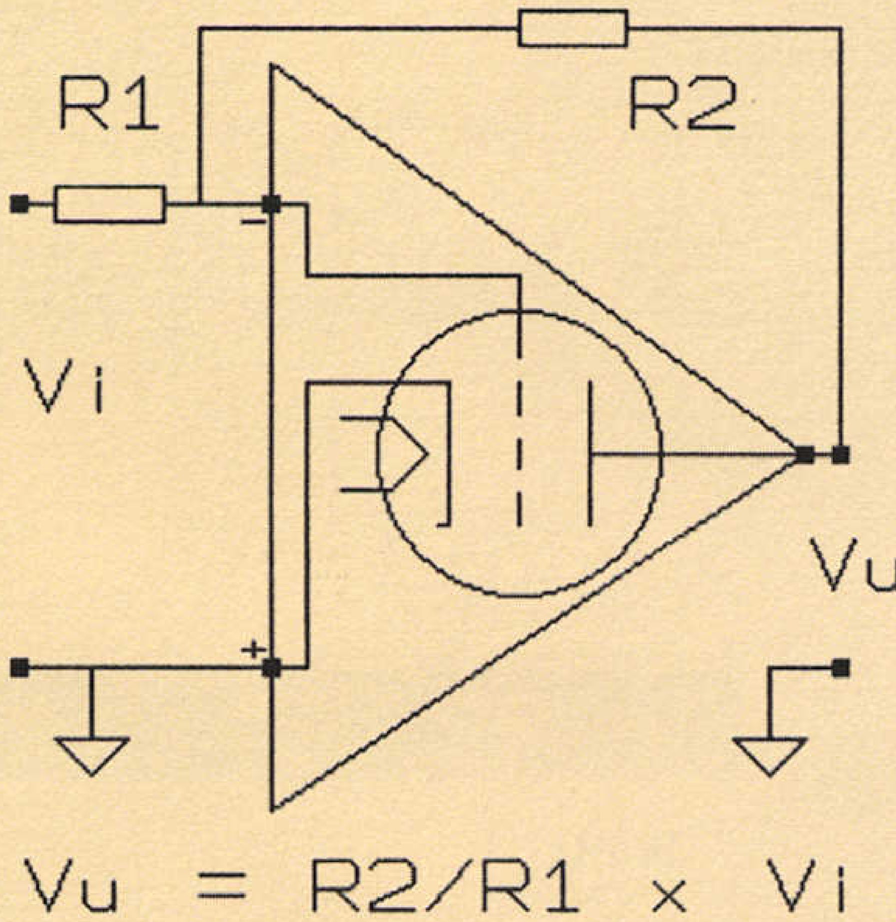
Het hernieuwde versterkerontwerp werd maart 2007 in bedrijf gesteld. Al snel werd duidelijk dat de ruststromen van de eindbuizen en de pentodesectie van de ECL82 niet nauwkeurig genoeg gelijk bleven. Ze verliepen aanzienlijk en regelmatige bijregeling was nodig. Daarom werd in 2008 besloten de al eerder genoemde autobiasschakeling toe te voegen. Echter de kast van de versterker was zo propvol geworden dat daarvoor eigenlijk geen plaats meer was. Uiteindelijk werd met veel gewurm plaats gevonden voor een enkele autobias voedingsunit, die echter twee regelunits moest bedie-



Afbeelding 10: De 2x5VA trafo past maar net op het AUTOBIAS-voedingprintje





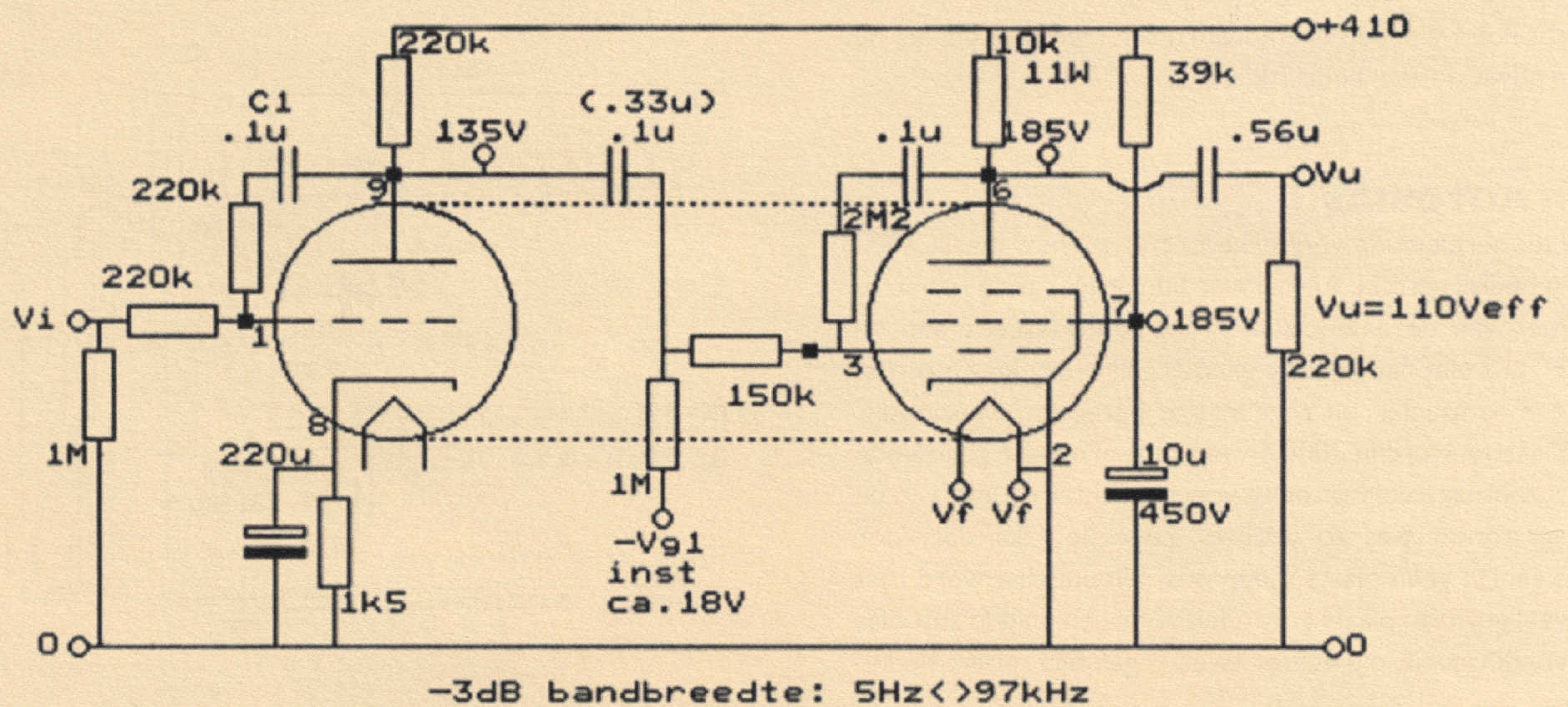


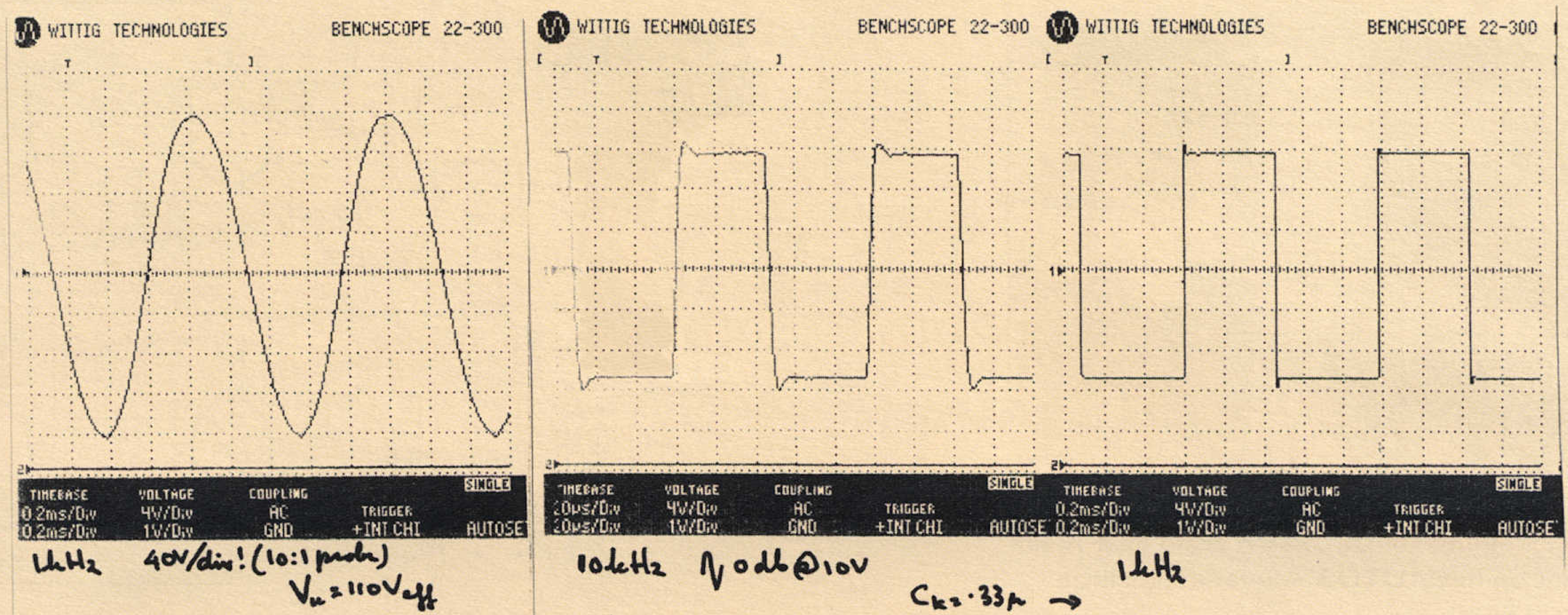
Afbeelding 9: Schakeling van de statusmonitor

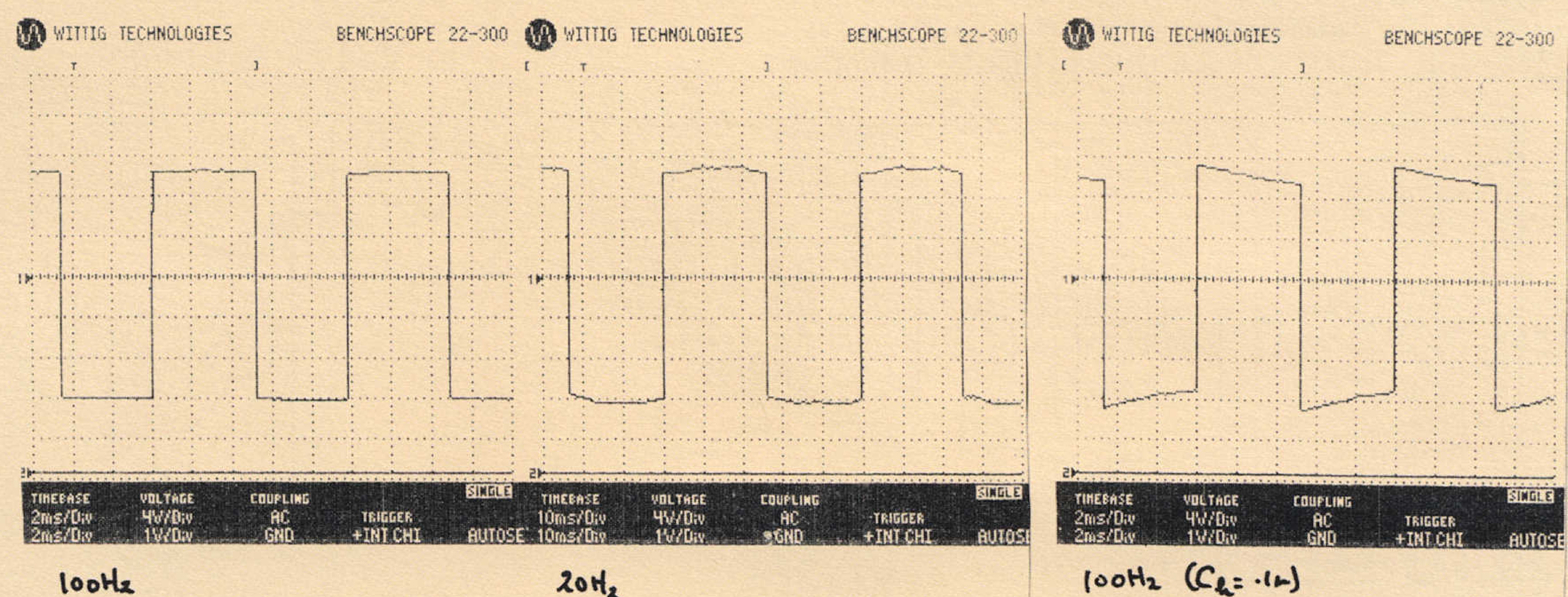
Afbeelding 11: Het schema van de oorspronkelijke Velleman K4000 versterker

Afbeelding 12: Het QUAD II versterkerschema, met CFB-uitgangstrafo, dat al die jaren het na te streven ideaal-ontwerp bleef.

Afbeelding 13: De basisschakeling







Afbeelding 14: De testschakeling met de ECL82 (Svetlana 6F3P)

Afbeelding 15: Uitstuurbereik, en blokgolf gedrag van de testschakeling...

Afbeelding 16: Testschakeling bij lage frekwenties. Doorzakken van de 100Hz blok wordt voorkomen door een koppelcondensator van 330nF te gebruiken.

nen. Na overleg met Guido Tent werd hiervoor een oplossing gevonden waarbij de oorspronkelijke 2x1,6VA voeding werd vervangen door een 2x5VA voedingstrafo. Ook de regeltransistor van deze voedingsunit had nu extra koeling nodig, wat met een extra koelvin is gerealiseerd.

Aanzet tot herontwerp

De oorspronkelijke K4000 versterker was uitgerust met per kanaal ½ ECC82 voorversterker, 1x ECC83 fasedraaier/stuurtrap en 4x EL34 eindtrap buizen; alle types van het merk "RDS".

Al snel gaven een tweetal EL34 eindbuizen de geest. Ze hadden een te groot verschil in de -Vg1 instelling, Door een gelukkig toeval kwam ik in het bezit van een flinke set Philips EL34 eindbuizen die zich wel stabiel gedroegen. Om gemakkelijk de ruststromen door de eindbuizen te kunnen meten op de testpunten TP1t/m4, werden deze testpunten aan de rechterkant van de kast naar buiten gevoerd, zodat de meter er gemakkelijk op kon worden aangesloten.
Van het begin af aan kon dit schema toch niet helemaal bekoren. Zie bijvoorbeeld de fasedraaier V5 rechter sectie, die zelf maar zijn DC-instelling moet zien te vinden. De grootste teleurstelling kwam via blokgolf testen naar voren. Vooral met capacitieve belasting traden fikse uitslingeringen op die mijn inziens de toepassing van een elektrostatische luidspreker dubieus maken. Dat was nou net mijn doel nadat ik deze in de zestiger jaren gehoord had op de Quad Transtec stand van de toenmaals beroemde Firato beurzen.

En toen begon het. Ik koos er voor om zelf een versterker te gaan ontwikkelen. Naast het regelmatig lezen van het beroemde boek "Het ontwerpen van versterkers" van ir. S.J. Hellings startte ik begin 2003 met een opfriscursus via het boek "Moderne High End Buizenversterkers" van ir. Menno van der Veen. Ik raakte in contact met Amplimo die mij op de hoogte brachten van een nieuwe ringkern uitgangstransformator met cathode feedback wikkelingen. De deur naar mijn eigen oplossing ging zachtjesaan open.
De eerste grote stap werd de vervanging van de oorspronkelijke ILP uitgangtrafo's door de VDV-2100-CFB/H. Deze zijn een stuk groter dan de ILP's en passen niet in de Velleman behuizing. Daarom werden ze met hulp van PAØHKS bovenop de trafobak geplaatst, als twee olietanks in de haven. Uit het voornoemde boek nam ik de fasedraaier over die hij in het laatste hoofdstuk bij de Maurits versterker toepast. De EL34 eindbuizen werden vervangen door KT88, altijd met kathode tegenkoppeling, maar afwisselend in Ultra Lineaire of in pure triode instelling. In 2004 koppelde ik voor het eerst de Final electrostaten aan de versterker, maar de nieuwe fasedraaier bleek onvoldoende uitsturingruimte te bezitten. Door al het ombouwen naderde de oorspronkelijke Vellemanprint zijn einde en besloot ik tot een totale herziening van de gehele versterker.

Basisschakeling

Omdat de fasedraaier de beperkende trap was geworden, is winter 2007 gezocht naar een ver uitstuurbare stuurtrap voor de KT88 eindbuizen die met kathode tegenkoppeling een behoorlijk grote stuurspanning nodig hebben. Ik besloot tot een "hyper klassieke" basisschakeling:
Iedere versterkertrap is lokaal tegengekoppeld van anode naar G1, met als resultaat dat de versterking wordt bepaald door de verhouding R2/R1 en niet door

Afbeelding 17:
Het blokschema

Afbeelding 18:
De voorversterker met parallel geschakelde 6N1P-secties

Afbeelding 19: Uitsturing en blokgolf gedrag van de voorversterker

Afbeelding 20: Fasedraaier à la "Maurits"

verlopende buisparameters. Tevens wordt door deze tegenkoppeling de effectieve inwendige weerstand van de schakeling verlaagd.
Indachtig aan het Quad II ontwerp besloot ik om de stuurtrappen voor de eindbuizen uit te voeren met pentodes. Via het boek "Audio en HiFi buizen" van Rainer zur Linde werd mijn aandacht getrokken naar de ECL82. Met de proefschakeling van afbeelding 14 onderzocht ik deze benadering en een nagenoeg onvervormde uitgangsspanning van 110 Veff bleek goed haalbaar te zijn.

De instellingen van de 7W pentode sectie waren als volgt: Ia = 22mA; Va = 185V; Ra = 10kOhm; Pa = 4W; Vg1 = -18V. Afbeeldingen 15 en 16 tonen de maximale uitsturing en de nagenoeg perfecte blokgolfweergave. De uitslingering in de blok wordt veroorzaakt door de inductie van de draadgewonden anodeweerstand.

Nieuw blokschema

Met de schakeling van afbeelding 14 als kern is de versterker opnieuw ontworpen. Afbeelding 17 toont de samenstelling. Er zijn 4 trappen te onderscheiden: voorversterker, fasedraaier, stuurtrap eindbuizen en vermogensversterking. De laatste 3 trappen zijn geïnspireerd op de HV214 uit het boek van Hellings, alhoewel daar geen kathodetegenkoppeling wordt gebruikt. De ontwikkelde trappen worden vervolgens in detail besproken.

Voorversterker

De voorversterkende trap bestaat uit één 6N1P met de 2 triodesecties parallel, zie afbeelding 18. De lokale tegenkoppeling is variabel gemaakt, om de ingangsgevoeligheid in te kunnen stellen. Ook is parallel aan R1 (zie afbeelding 14) een instelbare capaciteit aangebracht. Hiermee is, naast compensatie van de nu dubbele parasitaire anode-roostercapaciteit Cag1 die immers parallel aan R2 verschijnt, de totale frequentie karakteristiek

(optimaal 10kHz-blokgolf gedrag) naar wens in te stellen. Afbeelding 19 laat enige belangrijke meetresultaten zien.

Fasedraaier

De tweede trap is opgebouwd met de triodesecties van twee ECL82 buizen. De schakeling ervan is als in de "Maurits", maar via lokale tegenkoppeling is de versterking (ook van B4b) op rond 1 x gezet. Ook hier treffen we HF-compensatie aan, met een C=33pF parallel aan R=220k aan de ingang van de schakeling.

Stuurtrap eindbuizen

De derde trap gebruikt de pentodesecties van de twee ECL82 buizen. Deze is nagenoeg gelijk aan de testschakeling van afbeelding 14. De ruststromen worden met de autobias schakeling ingesteld. Dat kan door op de autobias regelprint de sensorweerstand van 10 Ohm te vervangen door een 27 Ohm weerstand (al in afbeelding 21 getekend). Als de autobias de ruststromen door de KT88 eindbuizen op 60 mA afregelt over de bijbehorende 10 Ohm sensorweerstanden, dan krijgt de ECL82 een rustroom van 60×10/27 = 22,2mA. Een en ander wordt door de autobiasschakeling volstrekt automatisch ingesteld.
De versterking is via de lokale tegenkoppeling op 15 maal ingesteld. De schermroosters ontvangen de constante spanning Vg2=190V, zie hiervoor de beschrijving bij de voeding.

Vermogensversterking

De eindtrap voor de vermogensversterking is gebleven zoals die jaren lang al was. De KT88 eindbuizen staan in triode en er wordt kathodetegenkoppeling toegepast.

De versterker als geheel

De overzichtschema's van de complete versterker en voeding zijn te vinden in de afbeeldingen 29 en 30. Hierin vallen nog enige zogenaamde lead & lag netwerkjes op die nodig zijn om de versterker stabiel te laten werken met tegenkoppeling (maximaal 6 dB overall tegenkoppeling) en capacitieve belasting.
De meetresultaten van de nieuwe versterker kunnen als volgt worden samengevat: uitgangsvermogen in 8 Ohm bedraagt 22W, de -3dB vermogensbandbreedte loopt van 4Hz tot 60kHz, de rest brom en ruisspanningen bedragen 0,3mVeff aan de uitgang, de stabiliteit is onvoorwaardelijk.

Autobias

Tot slot wil ik nog een paar opmerkingen maken over de autobiasschakeling. Deze leek mij heel aantrekkelijk vanwege het automatisch bewaken van de ruststromen door de buizen. De ontwikkelaar Menno van der Veen voegde daar nog een claim aan toe, namelijk dat de weergave van microdetails in het geluid zou verbeteren. Van dat laatste geloofde ik op voorhand geen snars.
Afbeeldingen 23 en 24 laten zien dat inbouw echt niet gemakkelijk was vanwege ruimtegebrek. Toen alles er in zat stond ik helemaal op scherp om te controleren of alles wel zou werken zoals geclaimd, of de kwaliteit van de geluidsweergave inderdaad was toegenomen.

Afbeelding 21: De stuurtrap voor de eindbuizen

Afbeelding 22: De KT88 eindtrap

Afbeelding 25:
Het complete schema van het voeding-herontwerp

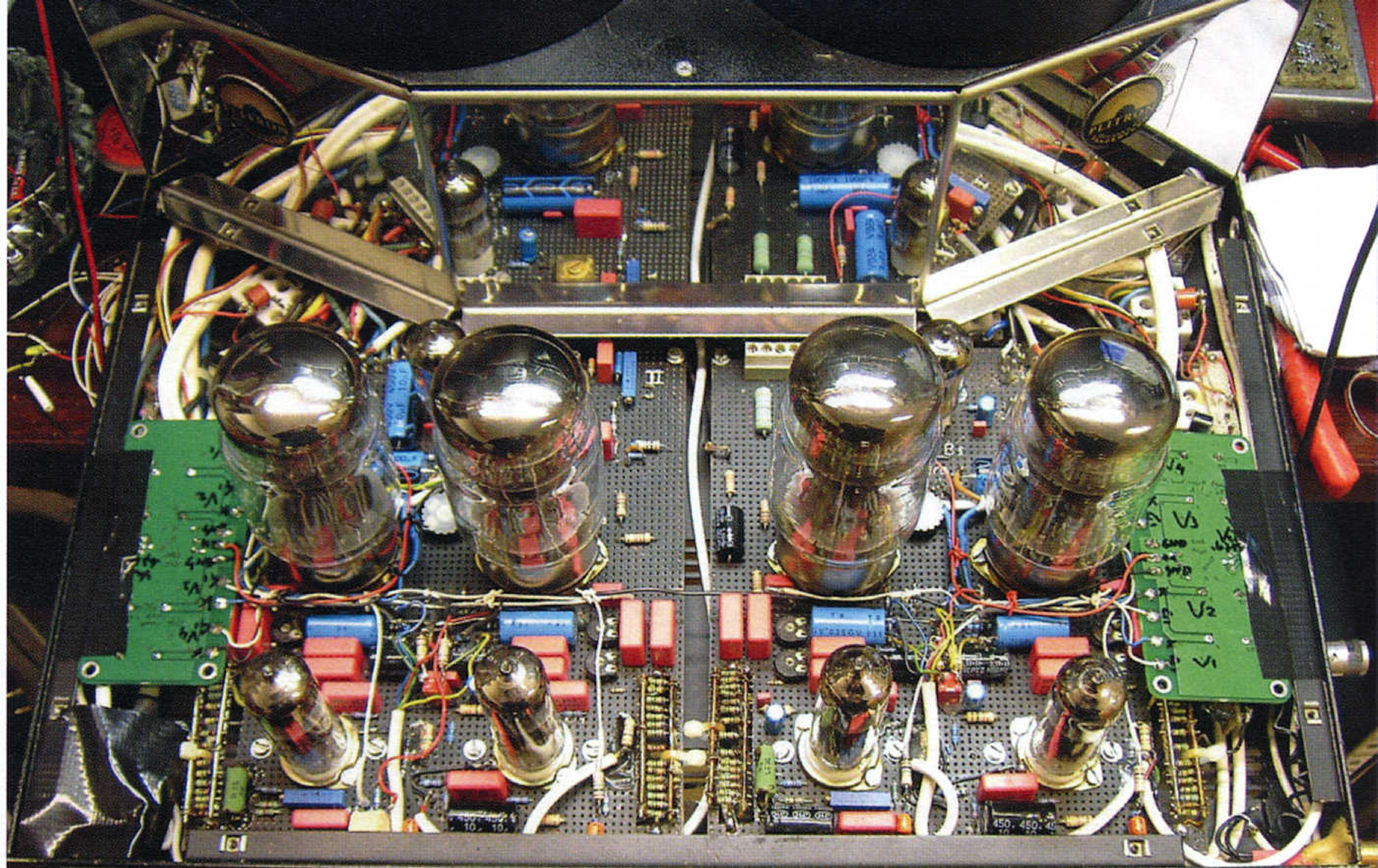


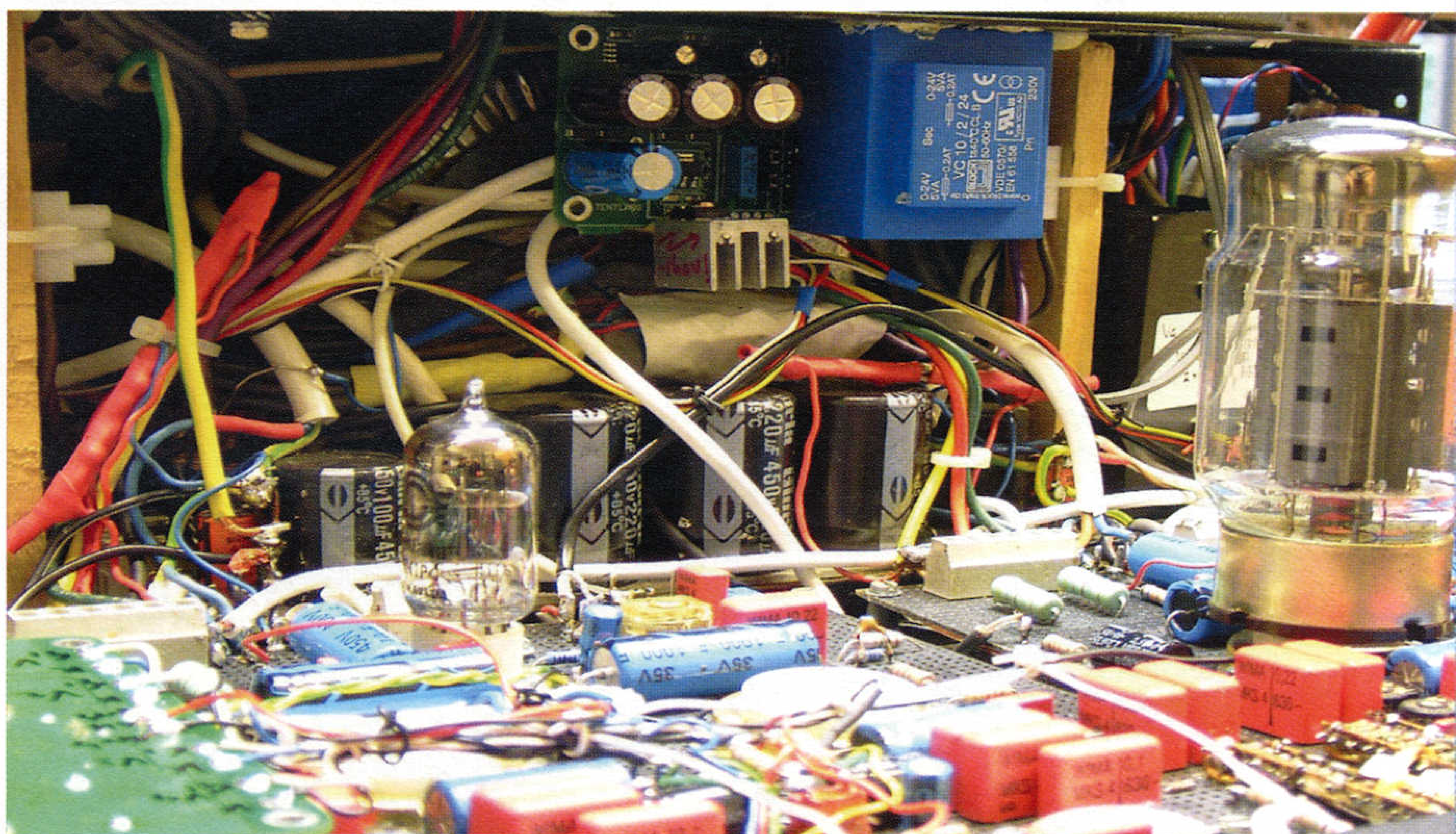


Afbeelding 26:
Het complete versterker-herontwerp (dd 28/07/'09)

Mijn waarneming is: de werking is verbluffend! De instelling van de buisparameters is nu zo stabiel dat de meter voor de kathodespanningen echt niet meer nodig is. Maar er gebeurde meer en het duurde even voor ik in de gaten kreeg wat er aan de hand was. Tot dan toe was de neiging groot het volume zo flink op te draaien als de NAF ("Neighbour Acceptance Factor") naar mijn idee toeliet, om maar geen detail in de weergave te hoeven missen. Die neiging is er nauwelijks meer sinds autobias zijn werk doet. Het klankbeeld is nu duidelijk herkenbaar breder, gedetailleerder, helderder en rustiger dan ooit tevoren. Daarom vind ik dat de claim van verbeterde microdetail weergave volledig terecht is.

Vragen en opmerkingen: henk_pieta@upcmail.nl





Afbeelding 23: Eén AUTOBIAS-voeding past nog in de K4000 trafobak

Afbeelding 24: De AUTOBIAS regelunits "ingebouwd", links en rechts van de versterkerprinten

SE High-End buizen-versterker 2 x 2 Watt



DOOR ARI POLISOIS

Met hoogrendement luidsprekers heb je weinig versterkervermogen nodig om luid geluid te maken, dan is 2 x 2 Watt ruim voldoende. Ari Polisois legt in dit artikel uit hoe het ontwerptraject van zo'n versterker kan verlopen, tegen welke problemen je aanloopt en wat je allemaal moet doen om zo'n klein versterkertje op high-end niveau te brengen.

Jaren geleden ontwikkelde ik een balans 2A3 buizenversterker met ringkern uitgangstransformatoren. De 2A3 buis staat hoog aangeschreven in de buizen high-end wereld omdat hij prachtige lineaire karakteristieken heeft. De versterker klonk prachtig en ik en mijn luistervrienden waren uiterst tevreden. Wel keek men wat verbaasd naar de grote kast, de vele trafo's en buizen, terwijl er maar zo'n 10 Watt vermogen uit kwam.

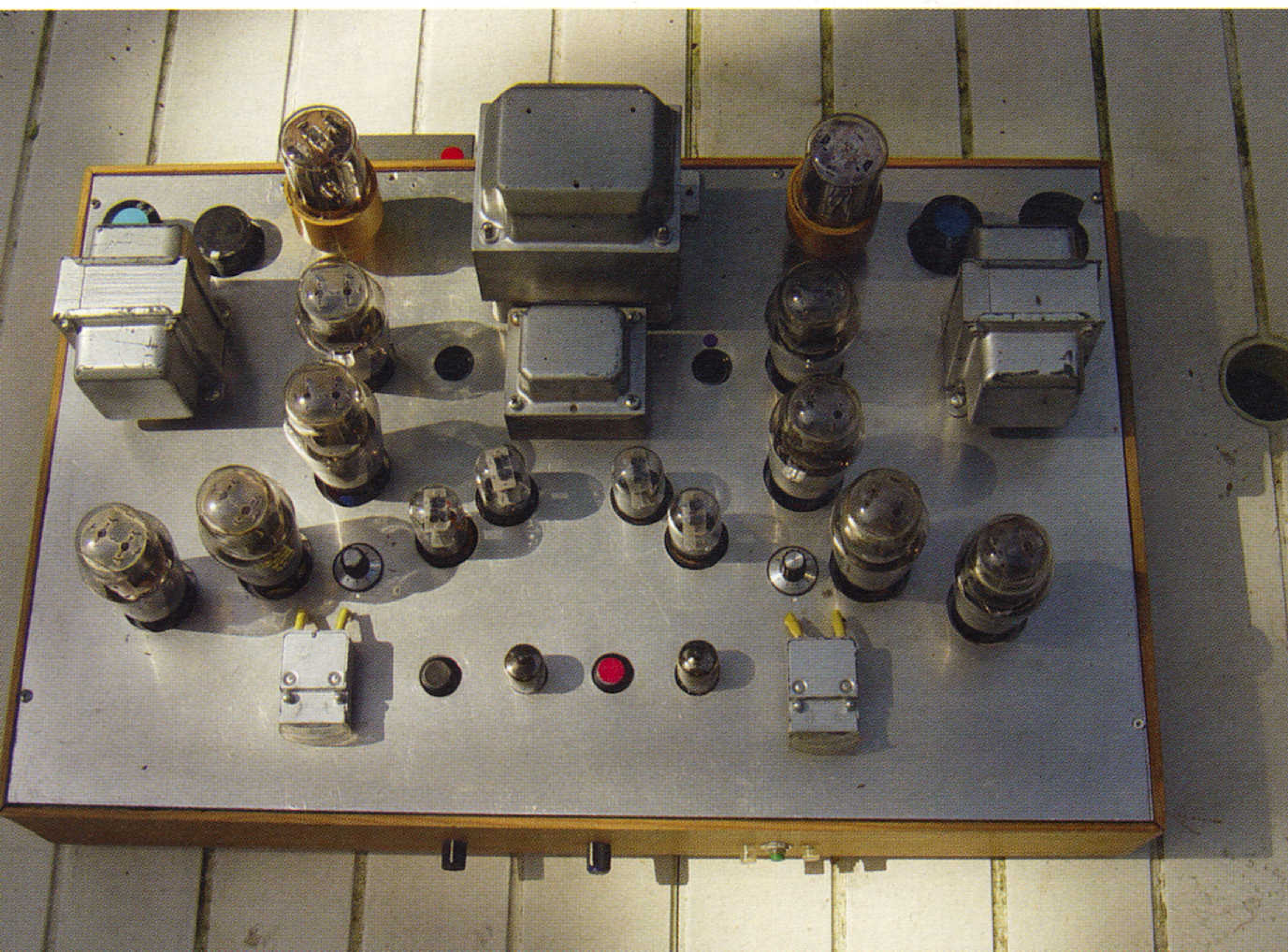


Foto 1: de eerste 2A3 balansversterker

Een van mijn luistervrienden merkte op of men zo'n versterker niet met minder onderdelen kon maken en of dat dan niet veel beter zou klinken. Die opmerking nestelde zich in mijn denken en is één van de hoofdroutes in mijn daarop volgende ontwerpen geworden. Ik bestudeerde de schema's van vele balansversterkers en zag dat ze allemaal hetzelfde redelijk complexe basisconcept gebruiken. Vergelijk met SE versterkers liet zien dat die veel simpeler zijn, waardoor de schoonheid van hun weergave begrijpelijk wordt. In mijn vervolgonderzoek ontdekte ik hoe je in de signaalweg koppelcondensatoren kunt vermijden (1) en hoe je slim DC kernverzadiging in de uitgangstransformator kunt voorkomen (2). Mijn uitgangspunten voor het ontwerp van dit artikel zijn: gebruik single ended triodes, geen koppelcondensatoren, geen tegenkoppeling, een beperkt aantal onderdelen, alleen elco's voor de voeding en plaats ze minimaal over de kathode weerstanden.

De eerste start

Onlangs werd ik benaderd door Gerrit Gerritsen en Wim Wevers over een door hen ontwikkelde versterker, zie foto 2.

Ze waren uitgegaan van een door hen ontworpen basisschema (fig.1) rondom de dubbeltriodebuis 6EM7. Deze bestaat uit twee verschillende triodeheften, waarbij de eerste helft als voorversterker functioneert en de tweede helft als eindbuis.

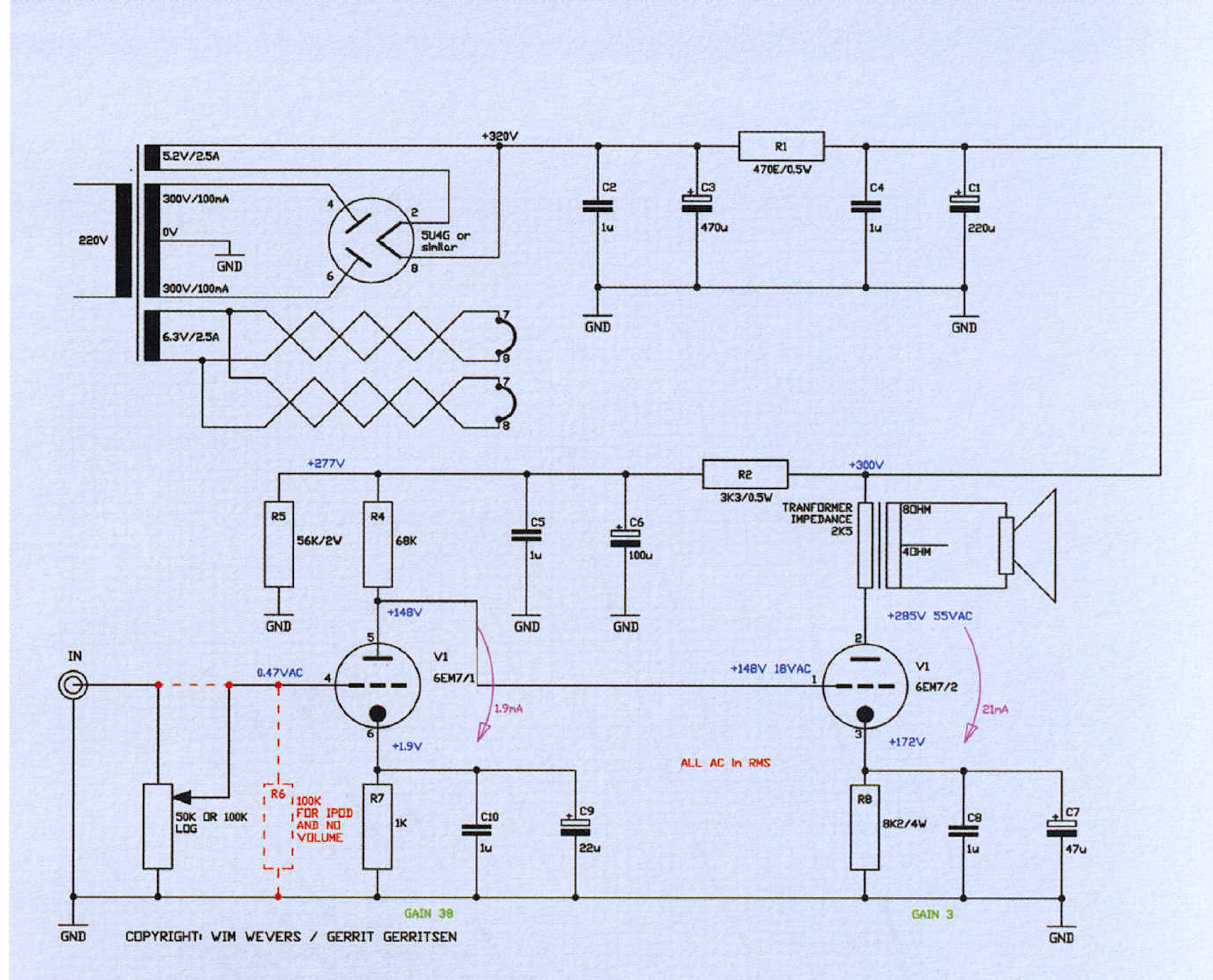


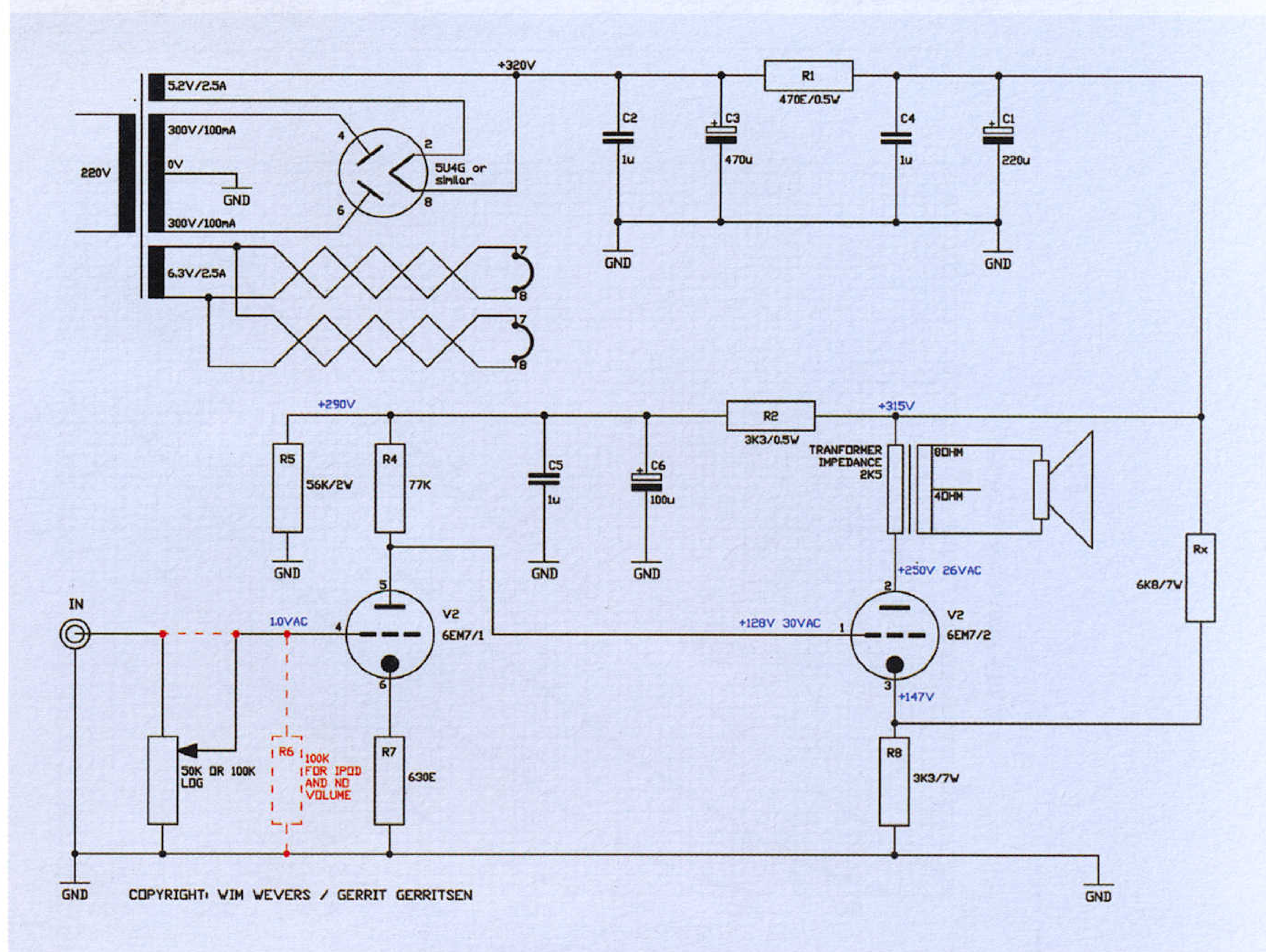
Foto 2: SE ontwerp van Gerritsen en Wevers

Na lezing van mijn DCMB publicatie (direct coupled modulated bias in de Elektor Audio Special 2008) hadden ze het ontwerp aangepast, zie fig.2.

De versterker klonk naar hun berichten uitzonderlijk goed, maar het uitgangsvermogen was wel erg gering, rondom 0,5 W terwijl ze minimaal 2 W hadden verwacht. Hun vragen aan mij luiden: "hoe komt het dat het uitgangsvermogen zo gering is" en "wat moeten we doen om het volle uitgangsvermogen ter beschikking te krijgen"?

Voor uitgangsvermogen moet je naar de volgende zaken kijken: hoe groot is de hoogspanning, welke ruststroom loopt er door de eindbuis, hoe groot is de maximale anode dissipatie van de eindbuis, hoe groot is de primaire impedantie van de uitgangstrafo, kan de stuurtrap voldoende wisselspanning leveren aan de eindbuis, hoe groot is de effectieve versterkingsfactor van de eindbuis? In detail ga ik deze zaken nu onderzoeken bij de schema's 1 en 2.





Figuur 1: Basisschema Gerritsen en Wevers

Figuur 2: DCMB aanpassing in basisschema

Analyse van het basisontwerp

De effectieve spanning tussen de kathode en de anode van de eindbuis bedraagt 295 - 172 = 123 V. Zie daartoe de blauwe meetspanningen in figuur 1. Hierbij is de anodespanning abusievelijk aangegeven met 285 V terwijl deze 295 V moet bedragen, dus slechts 5 V verlies over de primaire wikkeling. De ruststroom door de eindbuis kan berekend worden met de spanningsval over de kathodeweerstand en bedraagt 172/8k2 = 21 mA. Dit betekent een anodedissipatie van 123V * 21 mA = 2,6 W terwijl de eindbuis van de 6EM7 maximaal 10 W kan verdragen. De buis is nu wel erg zuinig ingesteld, wat in hoofdlijnen het geringe uitgangsvermogen verklaart.

Uitgaande van de voedingsspanning van ongeveer 300 V en een in te stellen anode dissipatie van bijvoorbeeld 9 W is een gunstig instelpunt bij Vak = 180 V en Io = 50 mA. In dat geval is de uitsturing naar links en naar rechts in de grafiek over de belastingslijn optimaal even groot. Het rooster moet dan volgens de karakteristieken bij dit instelpunt een negatieve spanning van Vgk = -28 V ten opzichte van de kathode hebben.

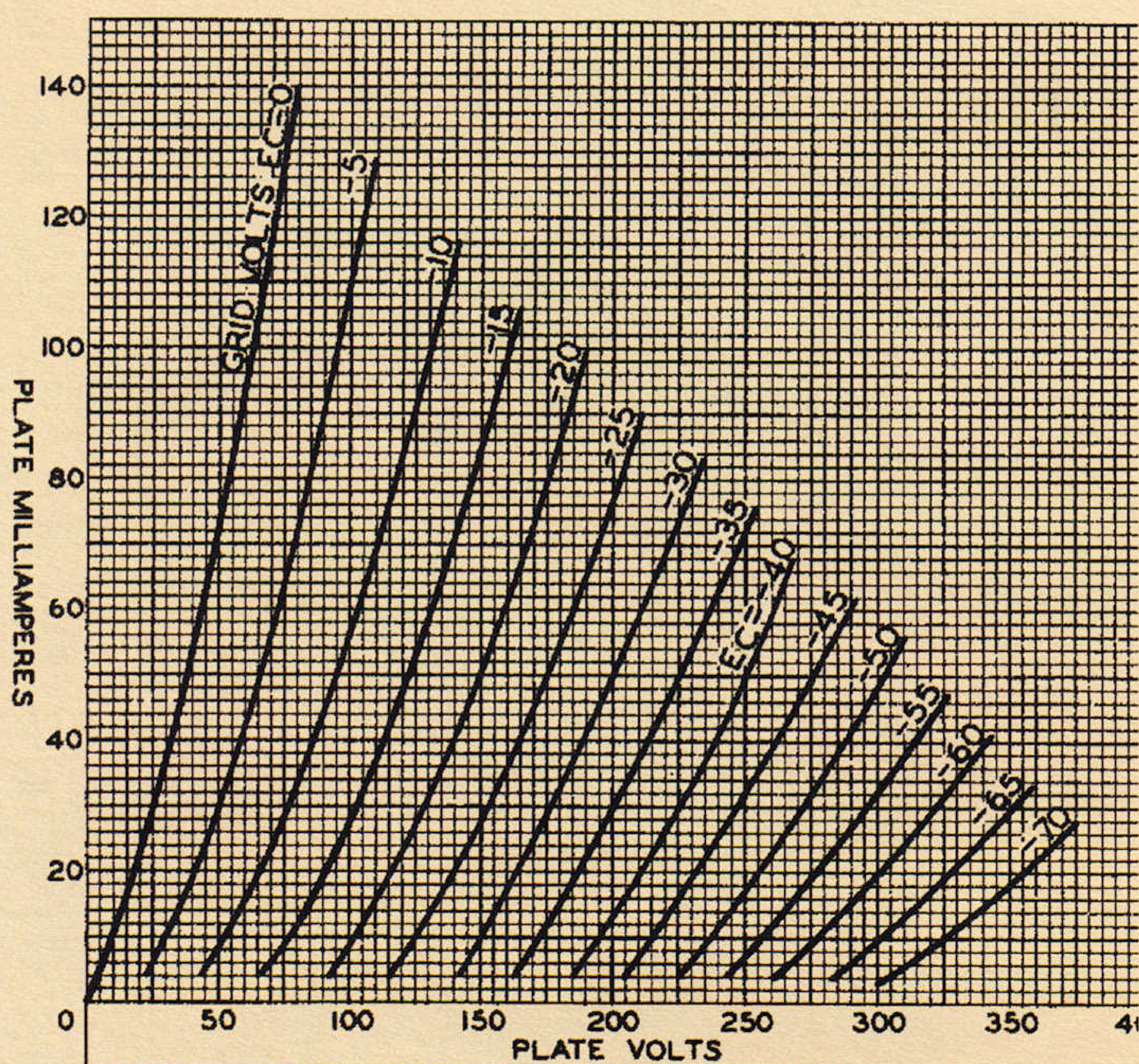
De volgende vraag is nu: kan de stuurbuis van de 6EM7 wel onvervormd wisselspanning afgeven met een amplitude van ongeveer 28 V om de eindbuis helemaal uit te sturen? Dit wordt in de volgende sectie onderzocht.

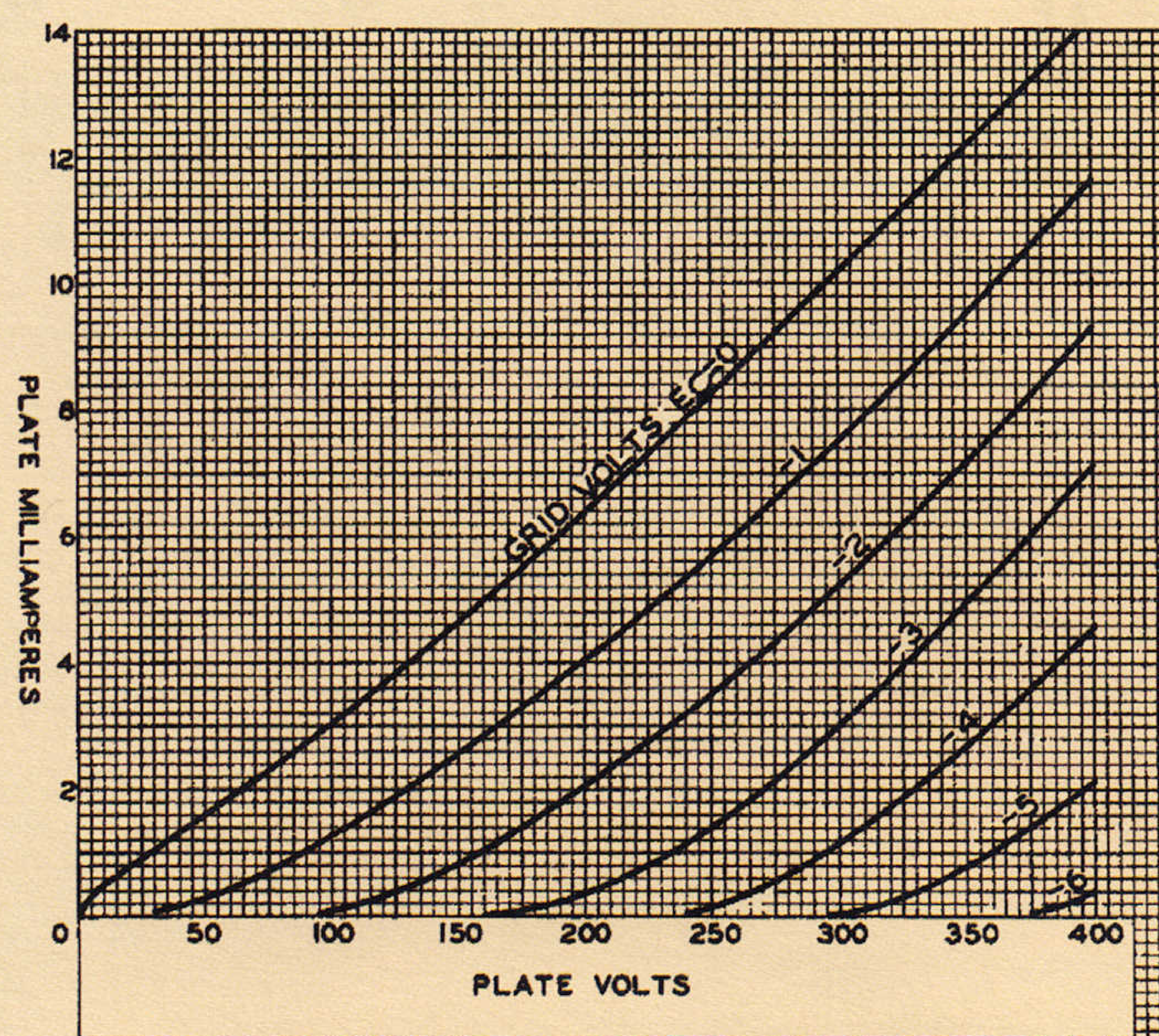
Andere Instelling

Het rendement van een triode eindtrap bedraagt ongeveer 20 tot 25% van de ingestelde anode dissipatie. Als we die nu eens vlak onder de maximale waarde van 10 W instellen, dan kunnen we ruim 2 W uitgangsvermogen verwachten. Figuur 3 toont de karakteristieken van de 6EM7 eindsectie.

De stuurtrap

Bij de instelling van buizen ga ik in eerste instantie uit van instellingen die in de specificatiebladen te vinden is. De fabrikant van de 6EM7 stelt als instelling van de eerste helft voor: Va = 250 V, Vgk = -3 V, Ia = 1,4 mA, Ri = 40 kOhm, m = 68. Zie figuur 4 voor de karakteristieken van deze stuurbuis.





Figuur 3: Karakteristieken 6EM7 eindbuis

Figuur 4: Karakteristieken van de 6EM7 stuurbuis

Doordat de anode van de eerste buishelft direct gekoppeld is aan het rooster van de tweede buishelft (geen koppelcondensator) kunnen we alvast uitrekenen wat deze instelling voor de benodigde voedingsspanning betekent. Vk2 = Va1 + Vgk2 = 250 + 28 = 278 V. We hadden eerder al berekend dat de tweede buishelft in rust een spanning van Vak = 180 V nodig heeft. Dit betekent dat de voedingsspanning van de tweede helft 278 + 180 + 5 V over de primaire wikkeling = 463 V moet bedragen. Maar zo'n hoge voedingsspanning mag helemaal niet losgelaten worden op de eerste triodehelft van de 6EM7. De fabrikant geeft aan dat 330 V het maximum is. Ook kunnen we nu de kathodeweerstand uitrekenen van de tweede buishelft. Deze staat op 278 V terwijl er een ruststroom van 50 mA door loopt. De kathodeweerstand van de eindbuis wordt dan 5560 Ohm (= 5k6) en hij moet een warmtedissipatie van 14 Watt hebben. Op grond van al deze gegevens gaan we nu op zoek naar een veilige instelling van de stuurbuis.

Veiligheidsmarges

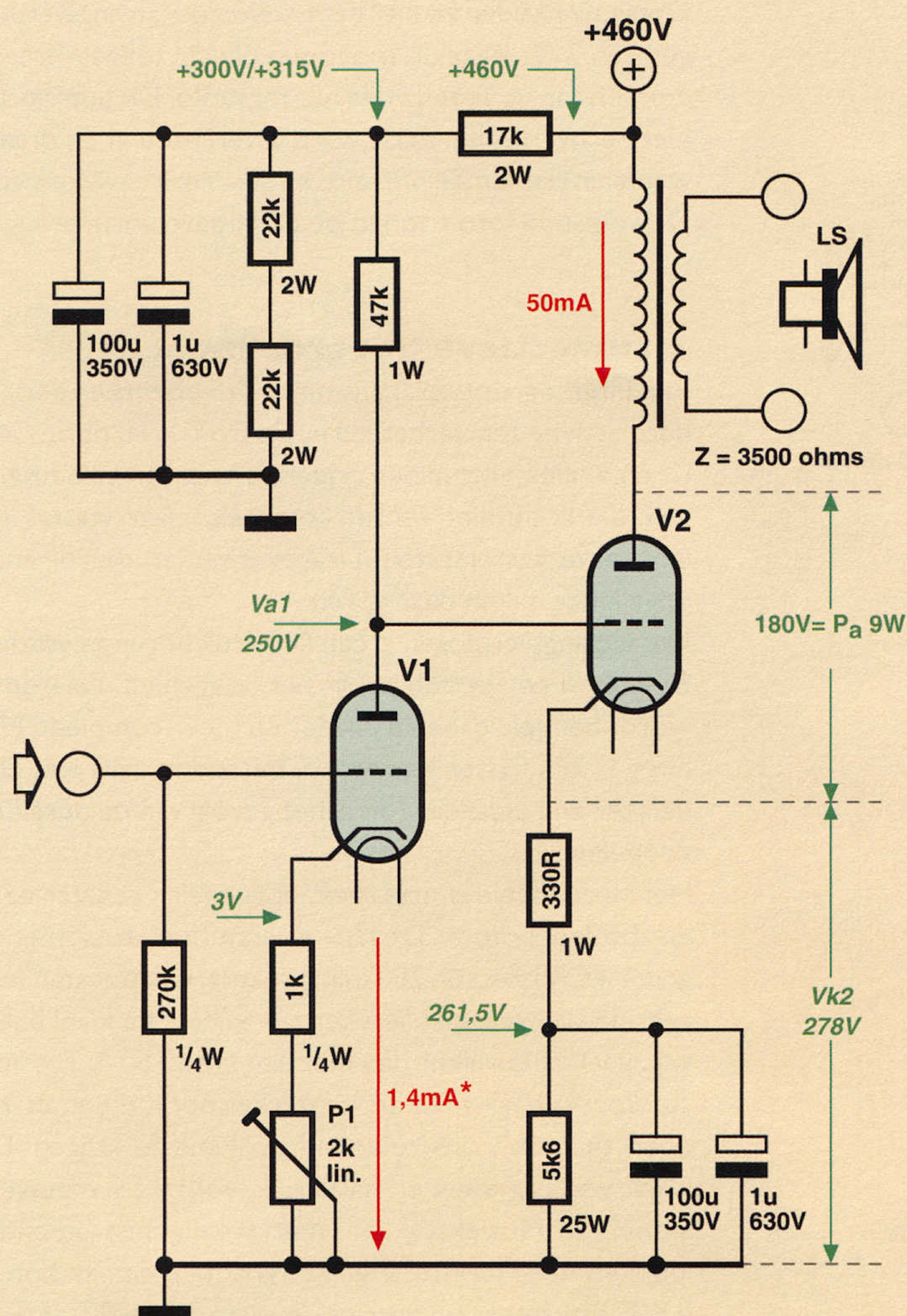
Door toevoeging van een extra spanningsdeler, gevormd door een 2 W weerstand van 17 kOhm en een weerstand van 44 kOhm (2 x 22 kOhm in serie, 2 W elk) brengen we hoogspanning van ongeveer 460 V terug naar 330 V. Door deze spanningsdeler loopt een stroom van 7,5 mA, die voldoende groter is dan de stroom van 1,4 mA door de stuurbuis. De spanningsdeler zal dus ook bij koude stuurbuis (de opstartfase) de hoogspanning beneden 330 V houden. Zie figuur 5 voor details van deze oplossing.
Als de eerste buishelft zijn 1,4 mA stroom gaat trekken in warme toestand, zal de hoogspanning nog iets zakken en in de omgeving van 310 V uitkomen. Die situatie is volledig veilig zoals al eerder is aangegeven. Op het knooppunt van de 44k en 17k weerstand wordt een elco aangebracht om de rimpelspanning van de hoogspanning extra te onderdrukken.

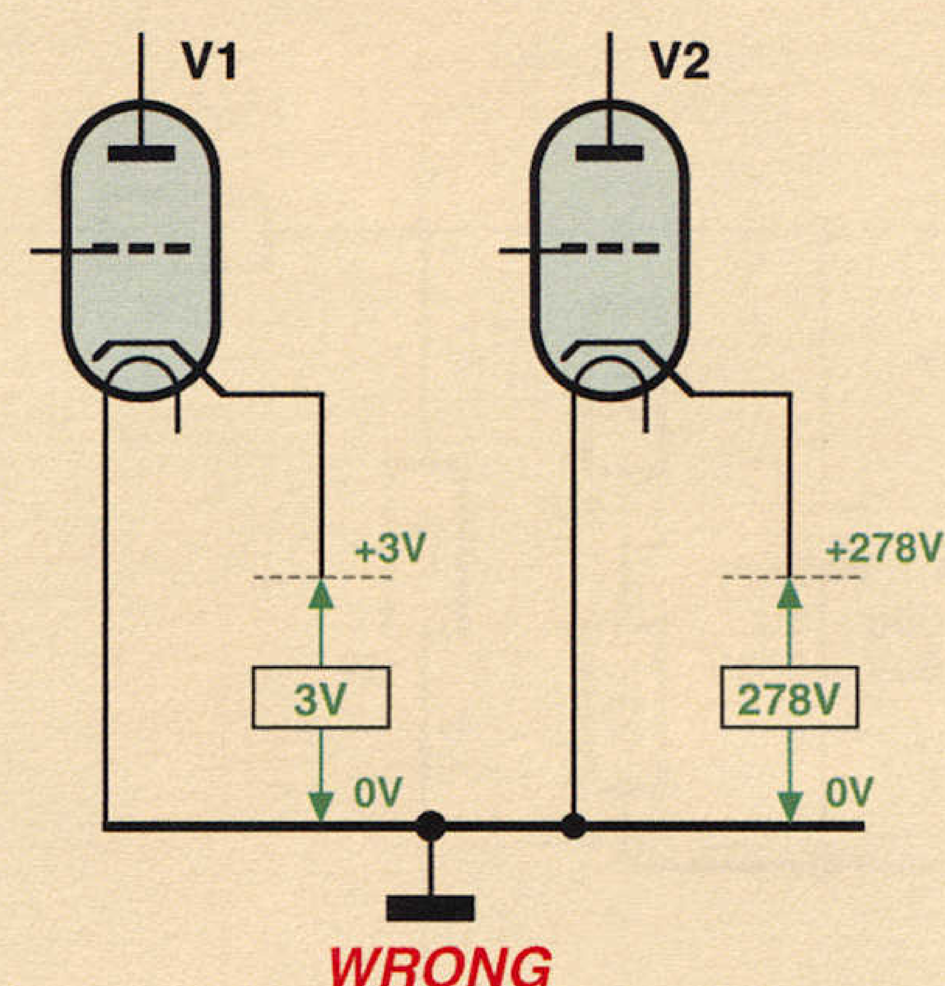
Een tweede probleem betreft de veiligheid van de gloeidraad die beide kathodes verwarmt. De eerste kathode staat nagenoeg op aardepotentiaal, terwijl de tweede kathode op ongeveer 280 V staat ten opzichte van aarde. De figuren 6a en 6b laten zien dat een extra spanningsdeler, aangesloten op de 6,3 V gloeidraadwikkeling het geheel van de gloeidraad optilt tot een potentiaal van ongeveer + 140 V ten opzichte van aarde. De maximale spanning tussen gloeidraad en kathodes mag 200 V bedragen, dus deze oplossing voldoet aan die veiligheidseis.

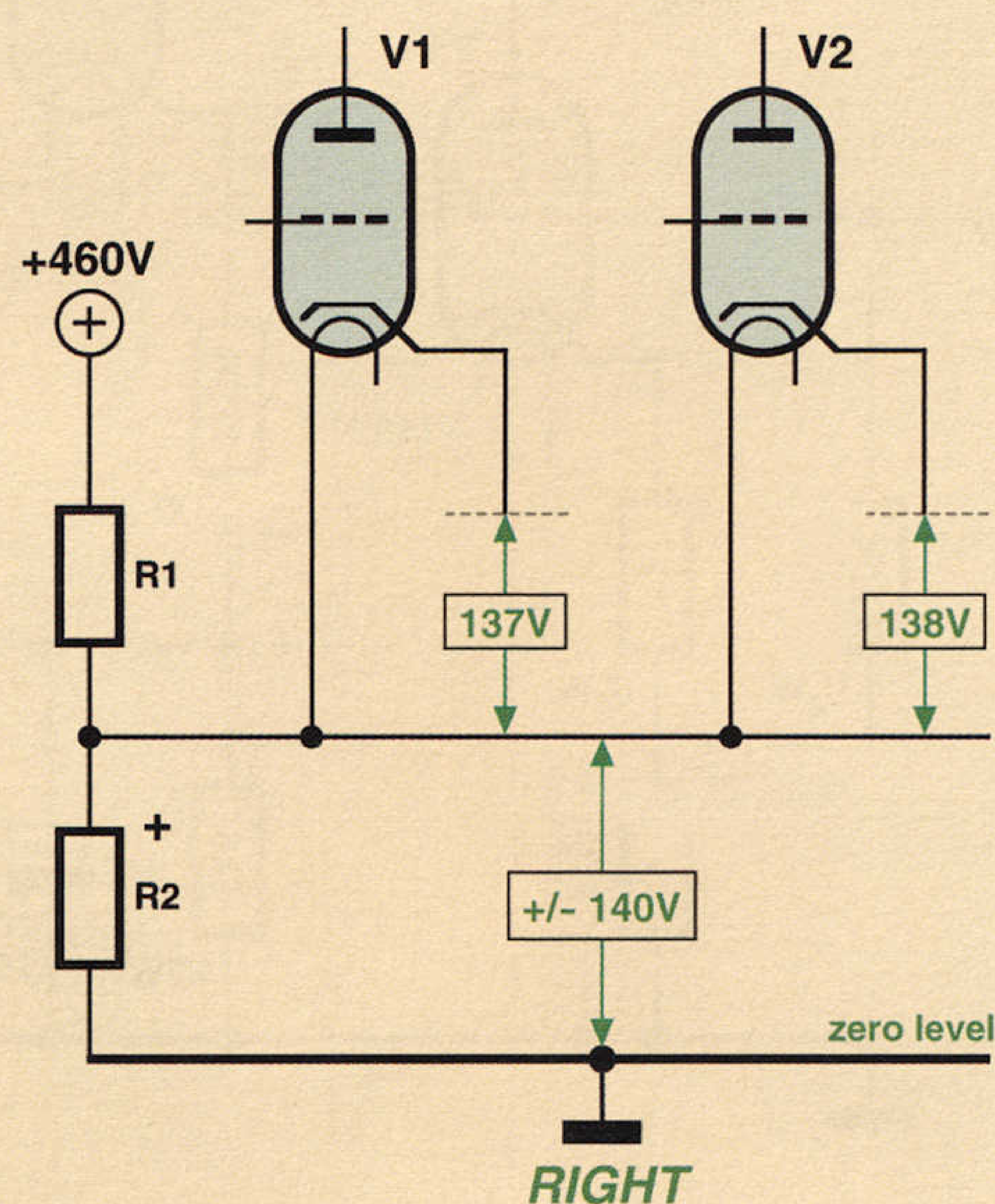
Versterkingsfactor eerste trap

In de kleine versterker wordt geen totaal tegenkoppeling gebruikt tussen de ingang en de uitgang. We kunnen dan de versterking per trap precies zo instelling dat er niet meer versterkt wordt dan nodig. Dit doen we door de kathodeweerstanden van de buizen in meer of mindere mate te overbruggen met condensatoren (elco's).
De anodeweerstand Ra1 van de eerste buishelft wordt gegeven door de spanning die erover staat, gedeeld door de 1,4 mA ruststroom. De spanning bedraagt ongeveer 310 - 250 = 60 V. Ra1 wordt dan: 60/1,4 = 43 kOhm. Neem hier gerust 47 kOhm voor, want zo precies hoeft het nu ook weer niet.
De kathodeweerstand Rk1 wordt gegeven door: Vgk1 = -3V en Ia = 1,4 mA. Dus Rk1 = 2,1 kOhm, opgebouwd uit een instelbare weerstand van 2 kOhm die we op 1k1 instellen in serie met een vaste weerstand van 1 kOhm.

Stel dat we de kathodeweerstand Rk1 volledig overbruggen met een voldoende grote condensator, dan wordt de versterking van de eerste trap: A1 = µ×Ra1/(Ra1+Ri) = 68×47/(47+40) = 36,7 maal. Bij een gekozen standaard ingangspanning van 1 V levert de eerste trap dus 36,7 V aan de tweede buis en dat is teveel, want aldaar is maximaal slechts 28 V amplitude nodig. We mogen de versterking van de eerste trap dus lager instellen.
Als we de eerste kathodeweerstand niet met een elco ontkoppelen, dan bedraagt de versterking: Ae =







A1/(1+βA1) met β=Rk1/Ra1=0,045. De effectieve versterking wordt door het optreden van kathodetegenkoppeling teruggebracht tot 13,9 maal en dat is te weinig. We zullen daarom de kathodeweerstand gedeeltelijk moeten ontkoppelen en dat doen we bijvoorbeeld door alleen over de instelpotentiometer een voldoende grote capaciteit te plaatsen. Dan blijft 1kOhm van de kathodeweerstand niet ontkoppeld en de versterking kan op dezelfde manier als hierboven berekend worden. Deze wordt dan: Ae = 20,6 maal. Dit ligt al in de buurt van de door ons gewenste waarde. Nu kan men zelf met deze procedure verder gaan en bijvoorbeeld de kathodeweerstand zo opdelen en ontkoppelen dat de effectieve versterking 26 tot 28 maal bedraagt. Meer is echt niet nodig omdat het rooster van de tweede buis niet helemaal tot de Vgk2=0 V lijn uitgestuurd mag worden, omdat er anders roosterstroom op gaat treden. Voor het vervolg van deze studie kiezen we nu een versterkingsfactor van 26 maal voor de eerste trap.

Versterking eindtrap

De primaire impedantie van de uitgangstrafo was op voorhand al bekend en bedraagt Za = 3k5. De inwendige weerstand van de eindbuis wordt gegeven door Ri = 750 Ohm, terwijl μ = 5,4. Overbruggen we nu de kathodeweerstand van de eindbuis met een elco met voldoende hoge spanning (bijvoorbeeld 100uF/350V), dan wordt de versterking van de eindtrap gegeven door: A2=μ×Za/(Za+Ri) = 4,45 maal. Is die versterking nodig of kan het ook wat minder? Om dat te bepalen gaan we eerst uitrekenen hoeveel spanning Vp over de primaire wikkeling nodig is om secundair 2 W te leveren. Stel dat de uitgangstrafo verliesvrij is, dan geldt: Puit = Vp^2 / Za. Dit levert op: Vp = 84 V. Op het rooster van de tweede eindbuis wordt 26 V aangeleverd, dus de versterking van de eindbuis hoeft maar 84/26 = 3,2 maal te bedragen. Dus we hoeven niet de gehele kathodeweerstand van de eindbuis met een elco te overbruggen. Volgen we dezelfde redenering als bij de stuurtrap, dan kan de kathode opgedeeld worden in een met elco overbrugd deel van 5k6 met daarmee in serie een niet overbrugd deel van 330 Ohm.

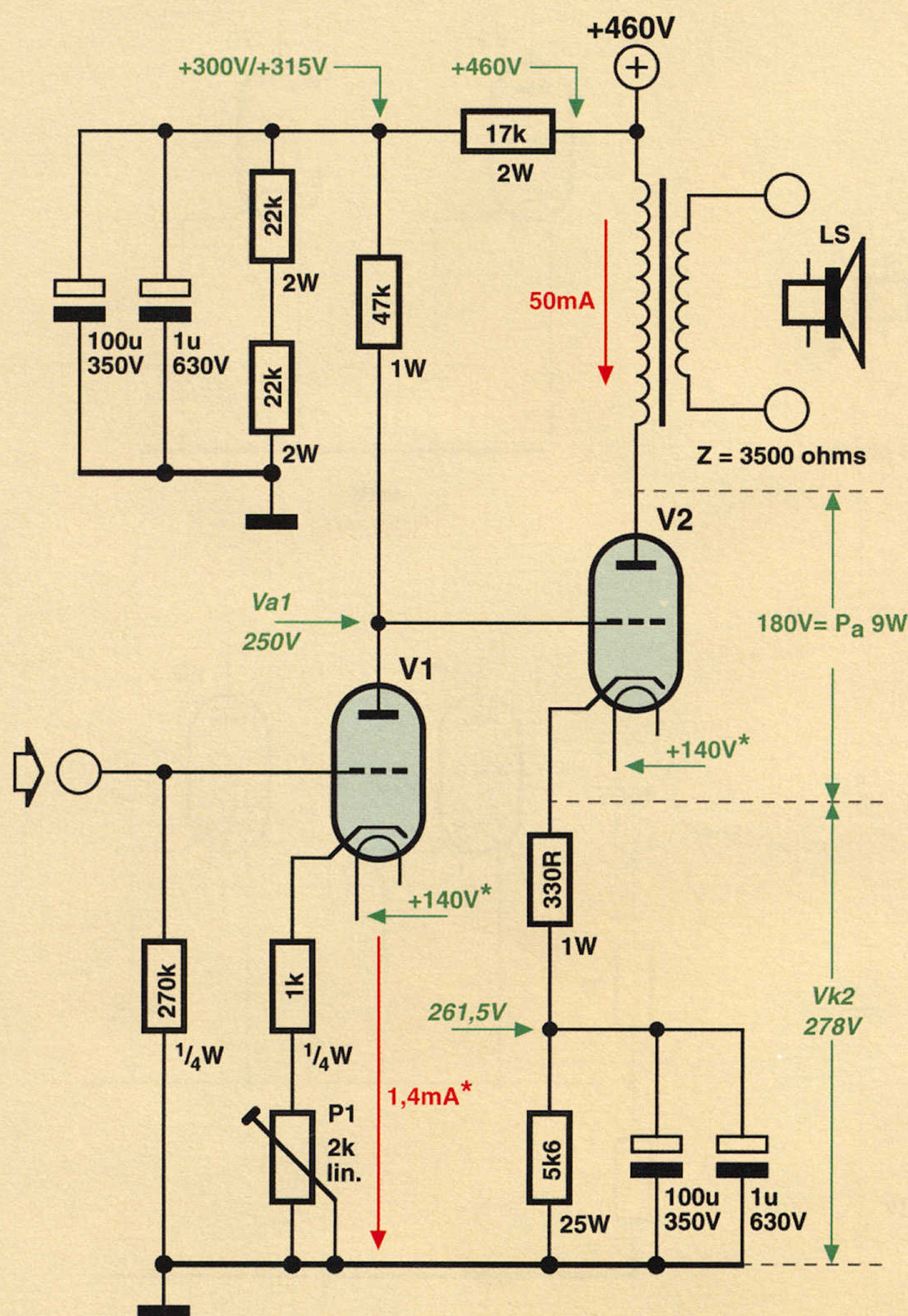
Eindfase

Vervolgens stuurde ik de ontwikkelaars het schema van figuur 7, waarin ik al mijn overwegingen had verwerkt, en wachtte vol spanning op hun bevindingen.

De heren Gerritsen en Wevers togen hiermee aan het werk, resulterend in hun eindschema van figuur 8. Dit wijkt wat af van mijn voorstellen, hoofdzakelijk veroor-

Figuur 5: De spanningsdeler 17k-44k brengt de voedingsspanning van de eerste buis terug tot een veilige waarde.

Figuren 6a en 6b: Een extra spanningsdeler aangesloten op de gloeidraadwikkeling brengt de spanning tussen gloeidraad en kathodes terug tot een veilige waarde.



Figuur 7: Voorstel voor nieuwe schematuur van de versterker

zaakt door de beschikbaarheid van gewenste spanningen van de aanwezige voedingstrafo.

Opnieuw haalden ze niet het berekende uitgangsvermogen van 2W, maar dit moet nu volledig toegeschreven worden aan verliezen in de uitgangstrafo. Dit betreft dan niet kernverliezen, maar warmteverliezen in de draadweerstanden van de primaire en secundaire wikkelingen. De volgende foto's tonen de definitieve vormgeving.

Subjectieve beoordeling

Van uiterst groot belang is nu of de versterker door al deze activiteiten verbeterd is. Daarom is hij door Gerrit en Willem niet alleen onderworpen aan vele metingen, die ik nu niet verder bespreek, maar vooral aan intensieve luistertesten. Daarbij kwamen de volgende opvallende zaken naar voren.

Het uitgangsvermogen is een flink stuk hoger geworden. Er is nu meer vermogen in het laaggebied. Daardoor wordt het geluidsbeeld breder en meer compleet. Het hoog is iets frisser geworden, misschien zelfs iets duidelijker en helderder (dit is het gevolg van de pure DC koppeling).

Het stereobeeld is magnifiek, ongelofelijk gedetailleerd en absoluut schoon. De kleine versterker stoeit met de grote ACR Isostatic 200 luidsprekers, we moesten hier zelfs de laagweergave iets terugdraaien. Het klankbeeld was veel natuurlijker dan met een fikse 150W Fet versterker. We hoefden de versterker nooit meer als 2/3 open te zetten om voldoende volume te krijgen. De klank was erg open en natuurlijk, vooral bij vrouwenstemmen. Muziekstukken met weinig instrumenten klonken het mooiste. Met het grootste gemak kon je ieder instrument op precies de juiste plaats zetten. Een verrukkelijke ervaring.

Daarna hebben we naar een paar veel kleiner KEF's geluisterd, type IQ30's. Dit is en tweeweg systeem waar de tweeter in het midden van de mid-laag luidspreker



Foto 3: Definitieve vormgeving

COPYRIGHT: WIM WEVERS / GERRIT GERRITSEN
V5.1 1W and a bit

gemonteerd is. Deze luidsprekers hebben een rendement van maar 89dB/W,m, maar ze klonken voortreffelijk. De klank was heel mooi open en ze klonken bijna als een dipool. Er was nu nog meer ruimte in het geluidsbeeld en ze klonken ook beter op een lager geluidsniveaus.

Nawoord

Dit artikel beschrijft de zoektocht die men moet ondernemen om een versterker te optimaliseren. Vooral de subjectieve resultaten laten duidelijk zien dat zo'n proces veel succes op kan leveren. Ik spreek mijn dank uit voor de medewerking die de heren Gerritsen en Wevers gegeven hebben om dit artikel mogelijk te maken.

Literatuur:

1) Ari Polisois: DCMB, Elektor Audio Special 2008

2) www.etf2008.com; lecture Ari Ploisois

3) info: A2Belectronics@wanadoo.fr en www.polisois-audio.com

4) http://timeandtubes.blogspot.com

Figuur 8:
Definitieve 2 x 2 W High-End SE versterker





The General II

Single Ended 300B versterker met interstage transformator

DOOR DICK VAN DE MERWE

Na de single ended 300B stereo eindversterker uit de vorige Elektor Audio Special 3, blijven we ook dit keer in de 300B sfeer met de bouw van een monoblok single ended versterker. Maar wel heel anders van opzet dan de vorige, want nu wordt er gebruik gemaakt van een interstage transformator en geavanceerde voedingen plus ruststroom controle.

Het grootste verschil tussen het ontwerp van vorig jaar en dit ontwerp zit hem in de koppeling van de voor en eindtrap. Dat wordt in deze versterker met een zogenaamde interstage transformator gedaan, dus zonder tussenkomst van koppelcondensatoren. De monoblok opzet betekent daarnaast, hoe kan het anders, dat ieder versterkerkanaal zijn eigen voedingtransformator heeft. De naam van deze versterker heb ik gekozen als eerbetoon aan een versterker die ik een jaar of 15 geleden bouwde en 'The General' noemde. Het was mijn eerste 300B single ended versterker waar ik echt 100% blij mee was. De versterker doet nog steeds prima waar hij destijds voor gebouwd is, hoewel ik in de tussenliggende tijd gelukkig wel het een en ander heb bijgeleerd. De versterker uit dit verhaal laat zien wat dat leren als resultaat heeft opgeleverd.

De schakeling

De schema's van de versterker en zijn voeding zijn te vinden in de figuren 1 en 2.

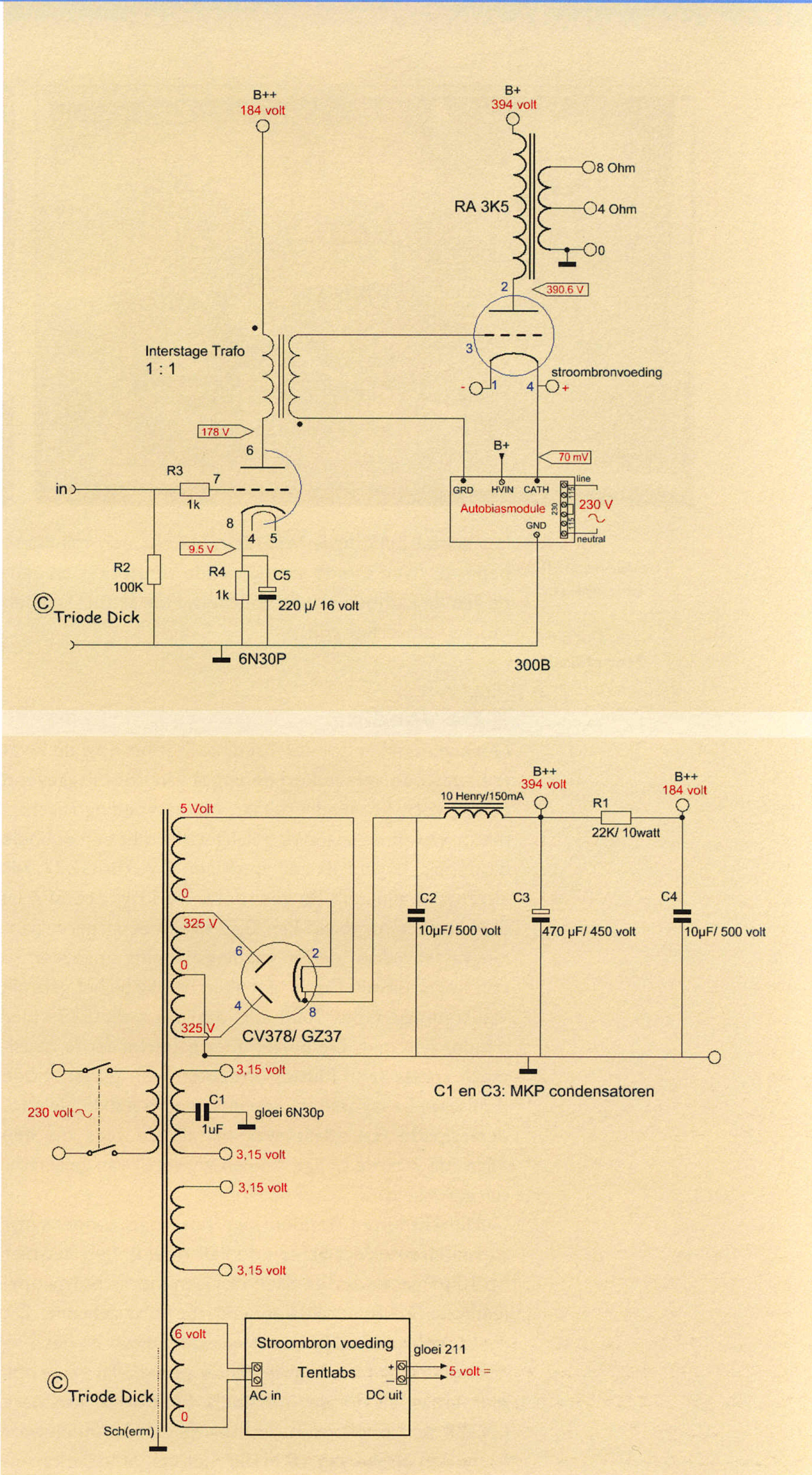
Voor de ingangsbuis wordt de Russische 6N30P gebruikt, een buis die ook als de 'supertriode' bekend staat. De bekendere veel toegepaste ECC88 is daarbij vergeleken een watje. De 6N30 paart kracht aan een buitengewoon lage inwendige weerstand. Dat biedt perspectief als je een eindbuis stevig en breedbandig aan wilt kunnen sturen. De beruchte Millercapaciteit is dan meteen kansloos. Voor de beginners: De Millercapaciteit is de inwendige buiscapaciteit tussen het stuurrooster en de anode. Die waarde daarvan kun je vinden in de datasheets van de buisfabrikant. Vermenigvuldig die met de versterkingfactor van de desbetreffende buis en je krijgt de Millercapaciteit in pF. Samen met de uitgangsweerstand van de aansturende versterkertrap vormt deze capaciteit een hoogaf filter. Dat kan nog behoorlijk ingrijpend zijn. In vroegere jaren werd de WE300B eindtriode vaak aangestuurd met een WE310 Penthode. Deze heeft zo'n hoge inwendige impedantie en daardoor hoge uitgangsimpedantie, dat er een effectief filter gevormd wordt dat al rond 1 kHz aanvangt. De totale bandbreedte komt dan uit op pakweg 12 tot 14 kHz. Dat willen we anno nu niet meer. Het is ook niet nodig, meer dan 50 kHz is tegenwoordig goed haalbaar.
Als je de stuurtrap van de General II nauwkeurig bekijkt, dan lijkt deze zelf een beetje op een eindversterker. Alsof het zelf een klein eindversterkertje betreft dat het rooster van de grotere 300B weer aanstuurt. De 'uitgangstransformator' van de stuurtrap is echter op een speciale wijze gewikkeld en niet als een stepdown trafo gemaakt zoals bij een normale uitgangstransformator. De transformatieverhouding is hier 1:1. Het AC muzieksignaal wordt vanaf de anode van de voorbuis dus 1 op

I doorgegeven aan de eindbuis. De prettig lage uitgangsweerstand van de 6N30 blijft dus ook onveranderd. Deze koppeltrafo blokkeert alleen de gelijkspanning op de anode van de eerste buis. Dat kan ook met een condensator, heel goed zelfs, maar de trafokoppeling heeft een prettig voordeel.

Klasse A2 uitsturing

Als bij flink uitsturen het rooster van de 300B eindbuis tegen de 0 volt grens dreigt te komen, slaat de enorm hoge ingangsimpedantie van het stuurrooster genadeloos om naar een heel lage ingangsweerstand. Dat kan bij echt positief uitsturen tot enkele kOhm dippen. Normaal is dat einde oefening voor de stuurtrap. Reken bijvoorbeeld alleen maar eens uit wat dan het effect is van een koppelcondensator met een waarde van 0,47 uF. In combinatie met een er achter geschakelde weerstand van 2 á 3 kOhm van het te ver uitgestuurde 300B stuurrooster wordt de laagweergave helemaal gedempt. Ook gaat er extra verzwakking optreden als we de uitgangsweerstand van een gemiddeld gebruikte stuurtrap in ogenschouw nemen. Er is niet veel inzicht nodig om te zien dat er een afknijpsituatie ontstaat van heb ik jou daar. Het gebied dat we namelijk proberen te betreden is in de volksmond bekend als het Klasse A2 territorium. In de zendtechniek is dat een heel normale situatie. Een vermogens zendbuis wordt daar keihard aangestuurd (gemoduleerd) met een voorgeschakelde vermogens versterker. Dit doen we eigenlijk ook een beetje in deze General II versterker. De 6N30 stuurtrap kan het rooster van de 300B een aardig stukje in het positief brengen en zo een stukje Klasse A2 vermogen maken. Dat blijkt toch snel meer dan 50 % extra headroom op te leveren. Deze extra reserve in de uitsturing (headroom) geeft meer ruimte voor uithalen in het muzieksignaal zonder dat de boel meteen strikt begrenst. Het gaat wel gepaard met een veel grilliger vervorming, maar dat is minder belangrijk. De echte muziek zit hem in de eerste watt en daaronder gebeurt het, daar luisteren we. Dit is verduld geen onzin, zoals ik verderop met metingen zal onderbouwen. Maar het is lekker eten dat als de volumeregelaar eens wat excessiever wordt bediend er niet meteen hoorbaar wordt begrensd of afgetopt. De General II lijkt in de praktijk ook veel meer uitgangsvermogen te hebben dan hij werkelijk heeft. Wat luidheid betreft is de missie geslaagd. Ik moet zeggen dat het totaal resultaat zelfs mooier is dan ik had gehoopt.

Hebben we hiermee een single ended triodeversterker die de eerste watt en alles daaronder perfect beheerst maar ook een lekkere headroom kan geven als de volumeregelaar even verder open gaat? Het heeft er alle schijn van, en dat met een gewone standaard 300B eindbuis. De goede werking van deze versterker wordt natuurlijk ook bepaald door de kwaliteit van de toegepaste transformatoren. De voeding en smoorspoel en interstage zijn van AE in Schagen, terwijl de uitgangstrafo de ringkern VDV3035SE is van Amplimo. Stuk voor stuk zijn dit Hollandse trafo's van topkwaliteit.



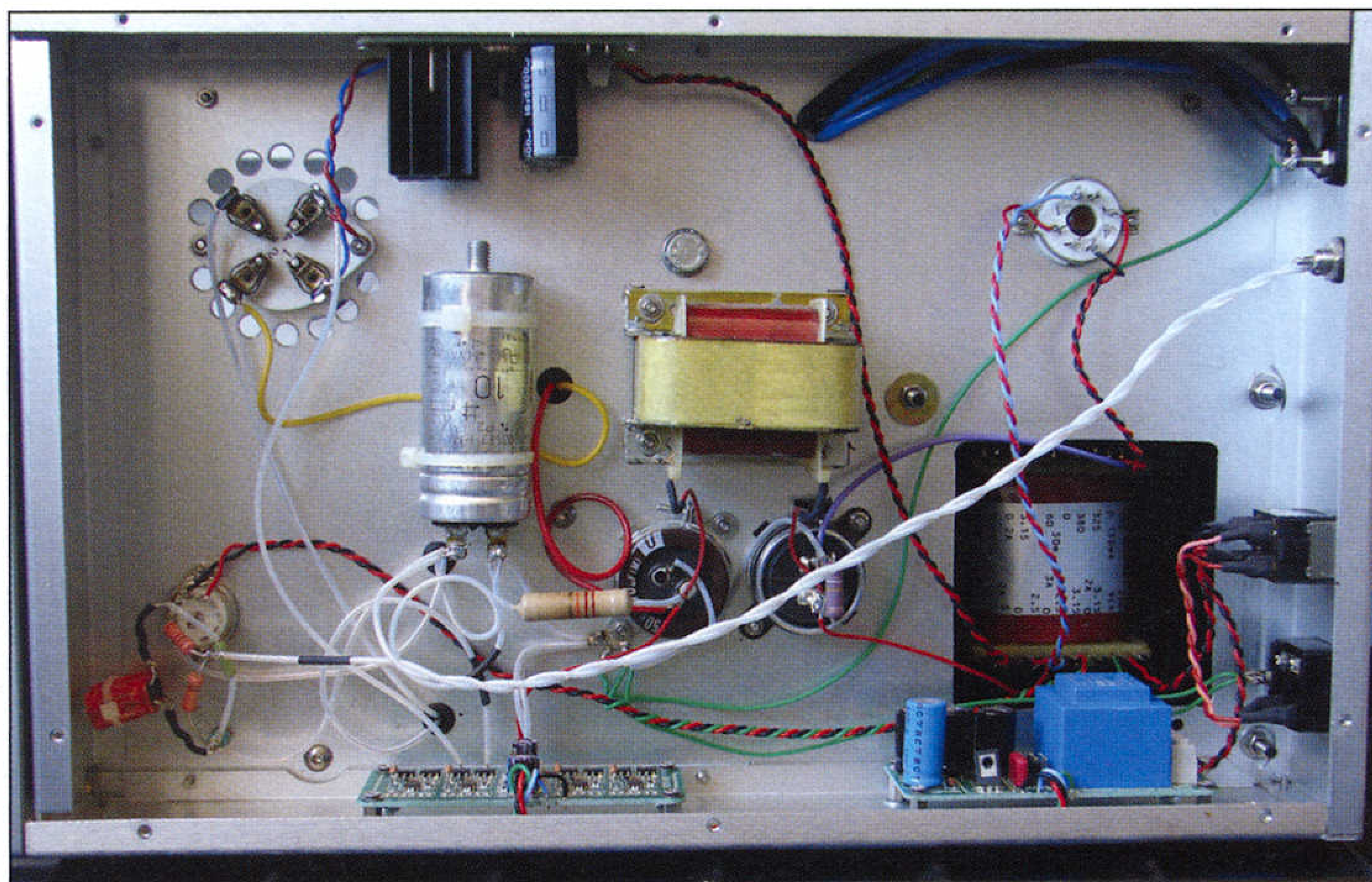
De dienende elektronica

Voor de gloeistroom van de 300B is net als in de eindversterker uit de vorige Elektor Special een Tentlabs gloeispanning module ingezet. Voor het strak op peil houden van de ruststroom zie je de eveneens vorig jaar gebruikte Tentlabs/Vanderveen autobias unit. 'Never change a winning team' is het toch? Sla voor een eventuele gewenste uitleg het blad van vorig jaar er even op na.

De 6N30 wordt gewoon met 6,3 V wisselspanning gegloeid. Het is nergens voor nodig om op dit niveau in de versterkerkring gelijkstroom te gebruiken. Zelfs op een hoogrendement speakersysteem is de versterker bromarm. Door het gebruik van de interstage trafo is

Figuur 1: Versterkerdeel van "The General"

Figuur 2: Voedingsdeel van "The General"



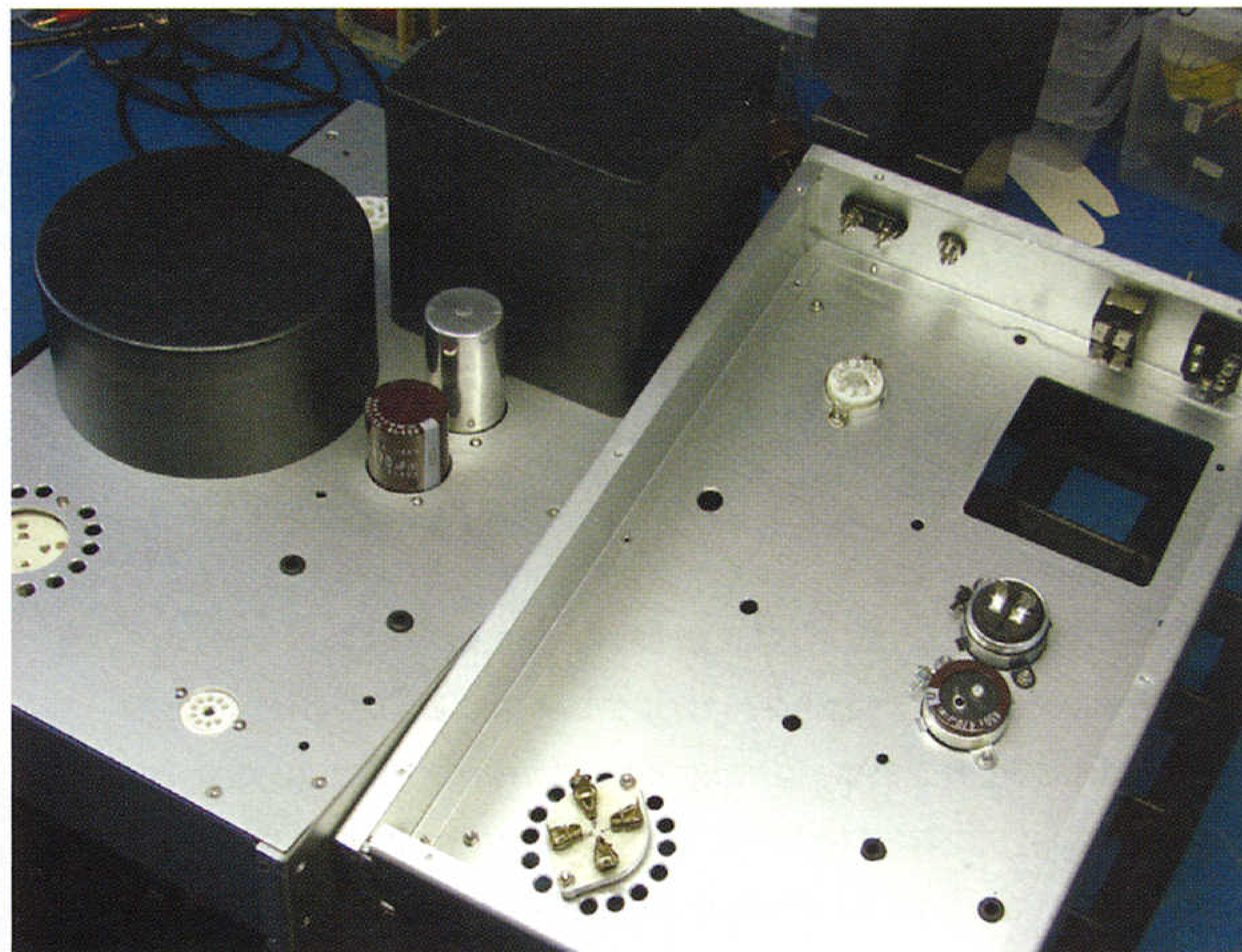


Foto 1: The General II binnenkant

Foto 2: Het chassis

het aantal benodigde weerstanden tot een minimum beperkt: twee aan de ingang van de versterker en eentje aan de kathode van de voorbuis. Hoe simpel kan een mooie versterker zijn.

De voeding

Geen versterker zonder voeding. Sterker nog: de kwaliteit van een versterkervoeding is van doorslaggevend belang voor het eindresultaat. Na de voedingtransformator wordt de spanning gelijkgericht met een dubbele diodebuis. Ik gebruik zelf graag een CV378/ GZ37. Als alternatief zijn ook de veel beter verkrijgbare 5R4 of 5U4 perfect inzetbaar. Een GZ34 geeft een lagere spanningval waardoor de B+ voedingspanning ongeveer 20 volt hoger uitvalt. Dat is niet altijd handig bij het gebruik van sommige types 300B, dus daarom is de GZ34 hier minder geschikt. De buizen met geperforeerde quasi-mesh anode (Full Music) of echte mesh (gaas) anode (Emission Labs) hebben een iets lagere maximale anodedissipatie. Let daar wel op als de bias op een bepaalde waarde is ingesteld en er wordt van gelijkrichter gewisseld.

Gelijkrichtbuizen houden niet van hoge condensator capaciteiten direct achter de kathode. Ik heb het hier op 10 µF gehouden en daarvoor een mooie polypropyleenfolie (MKP) in olie condensator voor gebruikt. Dit recept gebruik ik al jaren met goed resultaat en heb nog nooit een uitgebrande gelijkrichter gehad. Dat wil je ook niet graag als je de inmiddels behoorlijk kostbare CV378 buizen gebruikt. Achter de afvlakcondensator komt een choke van 10 H die met een amorfe kern is uitgevoerd. Daarachter een flinke buffer in de vorm van een 470 µF Nippon Chemicon elco. Deze overbekende bruine elco's hebben prachtige audiokwaliteiten en zijn goed betaalbaar en verkrijgbaar. Vanaf dit punt wordt de eindbuis gevoed. De voortrap wordt naar een lagere spanning gebracht via een 22 kOhm weerstand en nogmaals een 10 µF MKP in olie condensator als ontkoppeling. Het resultaat is een stabiele stille voeding.

De bouw

Voor de behuizing is een lage langwerpige aluminium kast gebruikt. De trafo's en buizen staan op de bovenkant. De eigenlijk versterkerschakeling, de 6N30 voorbuis, de interstagetrafo en de 300B staan aan de voorkant. De gelijkrichtbuis en afvlakcondensatoren vonden hun plaats tussen de achteraan geplaatste voedingtrafo en versterkertrappen. Dat geeft logische korte bedrading in de versterkerkast. De printen voor de gloeivoeding en de autobias unit zijn tegen de zijwanden gemonteerd. De bedrading is van PTFE isolatie voorzien, in verschillende kleuren, dat houdt het lekker overzichtelijk. Rond de buizen en naar de ingang is puur zilverdraad met teflonmantel gebruikt.

Het aluminium van de kast laat zich gemakkelijk bewerken. Boorgaatjes lubberen niet uit als je scherpe boren gebruikt. Het enige speciale gereedschap dat nodig is zijn ponsen om de gaten voor de buishouders en condensatoren te maken. Daar zijn er drie voor nodig: 22,5 mm, 28 mm en 37 mm. Die zijn behoorlijk aan de prijs. Wordt dit het enige versterkerproject dat je denkt te gaan maken? Teken ze netjes af en ga naar een plaatselijk plaatwerkbedrijf.

Dan nu een opmerking over solderen. Ik geef een tip die door milieufreaks misschien niet in dank wordt afgenomen: gebruik geen loodvrij soldeertin. Het huidige spul soldeert niet fijn, koude lassen zijn slecht herkenbaar en de duurzaamheid van de soldeerlas is beroerd. Wil je voor jaren en jaren een storingvrije versterker, en waar bouwen we buizenapparatuur anders voor, gebruik dan het ouderwetse 60/40 tin. Niet te dik, 0,7 mm is fijne diameter. Dit tin is voor ons, Jan Consument, nog gewoon verkrijgbaar bij een fatsoenlijk geoutilleerde elektronicawinkel.

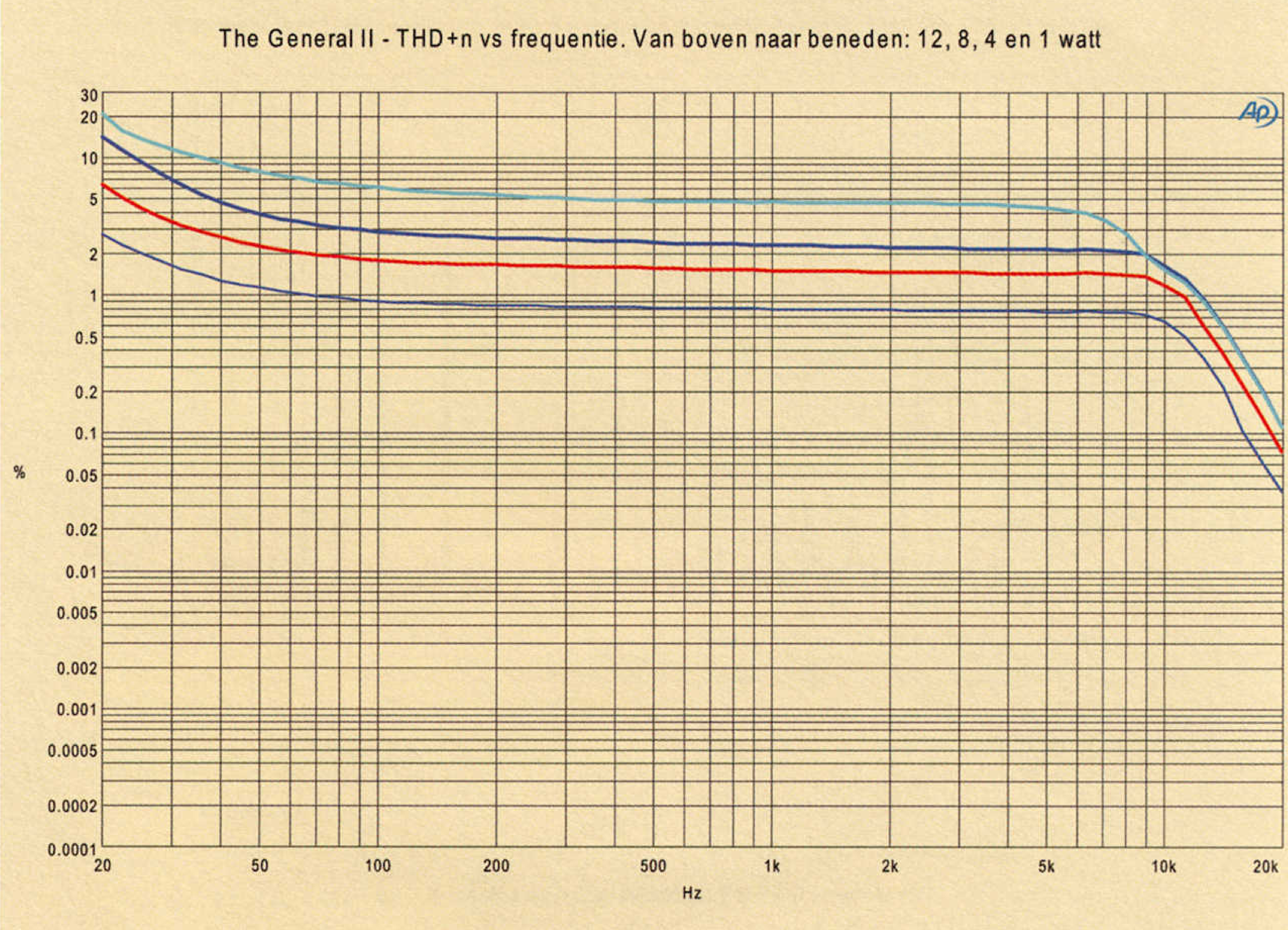
En als na de nodige dagen of avonden noeste arbeid hét moment daar is dat alle onderdelen op hun plek zitten en met de bedrading aan elkaar verbonden zijn, wil je de spanning er graag opzetten. Maar je durft het nog niet goed, dus meet je de spanningen eerst eens zonder de buizen op hun plek. Hoe gek het ook klinkt: NIET DOEN! Dit is de grootste vergissing die je kunt maken. De voeding is onbelast, de optredende spanningen lopen daardoor op en worden te hoog. Zo hoog zelfs dat ze boven de maximale spanning van de voedingselco's kunnen komen, waardoor deze kapot gaan.

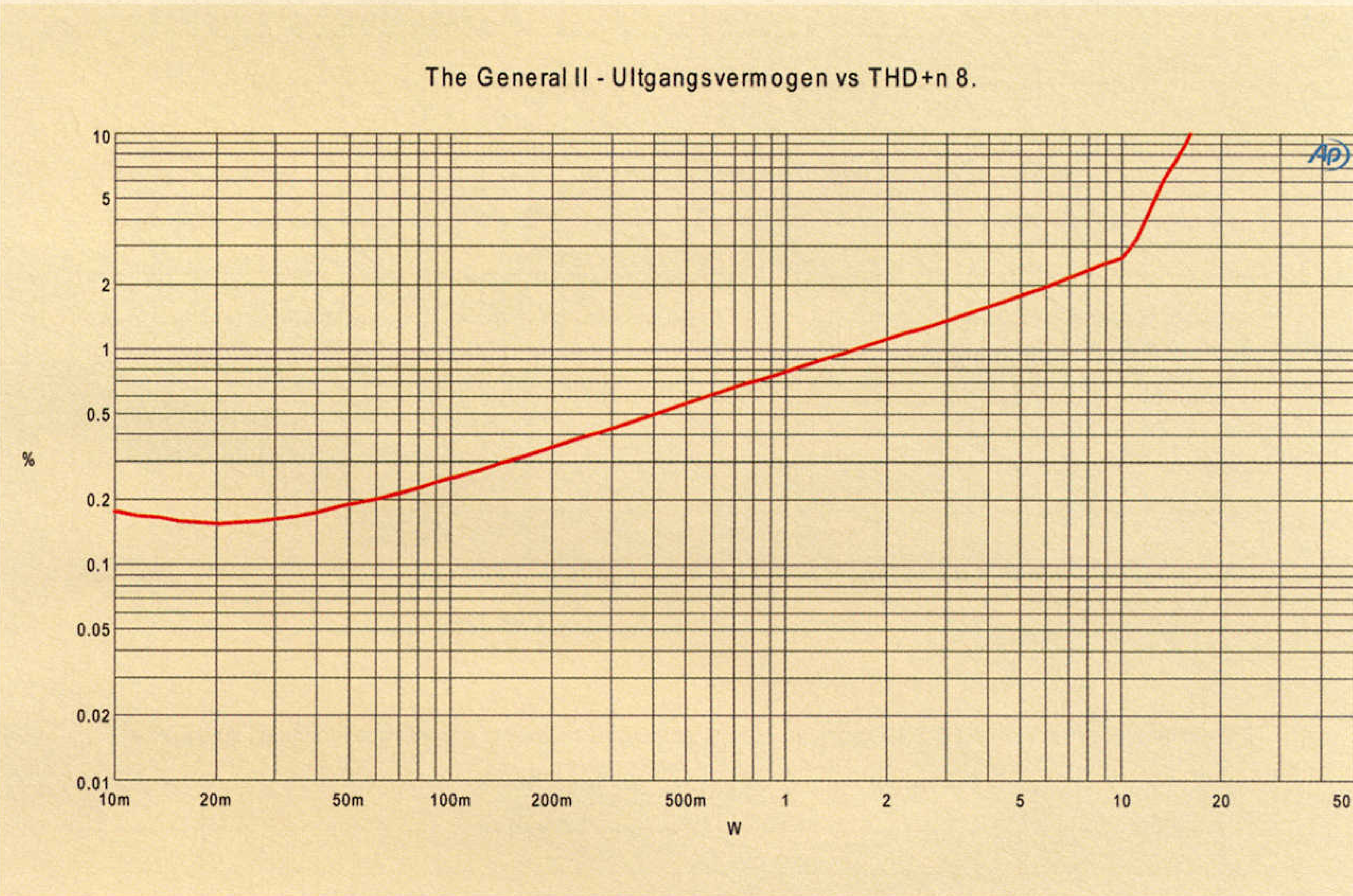
Voer daarom eerst de instelinstructies uit die beschreven staan in de gebruiksaanwijzing voor de Tentlabs/ Vanderveen biasmodule. Controleer met je Ohm-meter of je tussen het stuurrooster van de 300B en de GRD aansluiting van de autobiasprint nul Ohm meet. Controleer daarna of je 100 kOhm meet tussen aansluiting 7

van de 6N30 buis en voedingmassa. Kijk nog even goed of alle voedingcondensatoren met massa zijn verbonden. Loop nog eens alle spanningtaps na vanaf de voedingtrafo naar hun bestemming. Er kan dan al weinig meer mis gaan. Dus plug je buizen in de versterker en laat de boel maar op temperatuur komen. Na pakweg een halve minuut schakelt de biasmodule langzaam de 300B eindbuis in. Regel op de biasmodule de ruststroom af op 70 mA. Dit is het moment om de spanningen even langs te lopen die in het schema vermeld staan. Er kan hier en daar best een paar volt afwijking te zien zijn, dat is afhankelijk van de gebruikte buisjes. De 300B zal echter keihard op de vooringestelde ruststroom van 70 mA gaan staan, ongeacht of er de ene of andere 300B type wordt gebruikt. Ook de stroombron voeding voor het gloeien van de 300B kathode/gloeidraad stelt zich automatisch in op 5 volt.
Zien alle spanningen er gezond uit? Dan kun je met een oscilloscoop en toongenerator aan de slag gaan om de AC signaalverwerking te checken. Of je sluit een CD speler en voorversterker en luidspreker aan op de General II en controleert de goede werking met je oren.

Tweaken en fiedelen

Valt er nog wat te tweaken met deze versterker? Natuurlijk, er valt altijd wat te tweaken. De meest simpele, maar wel een beetje kostbare aangelegenheid, is het uitwisselen van verschillende 300B types. In mijn persoonlijke 300B hitparade heeft zich de laatste twee jaar een trio afgesplitst dat zich toch steeds weer blijkt te onderscheiden uit het grote veld: De Western Electric WE300B, de Emission Labs 300BM en de EAT 300B. Daar vlak achter komt de Full Music semi mesh 300B. Maar vergis je niet in de kwaliteiten die een zeer betaalbare Electro Harmonix 300B je kan geven, of de bekende JJ300B. In het hedendaagse aanbod van deze 'koningin onder de triodes' heb ik nog geen matige buis kunnen ontdekken. De ondergrens ligt al op een goed niveau. Er zijn zeker betere, beste en iets mindere, maar de meest betaalbare buis zit al op een kwaliteitniveau dat er mag wezen zodat lekker luisteren altijd lukt. De genoemde favoriete buizen doen daar alleen nog een stap bovenop. Je kunt ook met verschillende 6N30 buizen experimenteren. Hoewel ik er nu wel achter ben dat de overeenkomsten veel groter zijn dan de verschillen. Het lijkt wel of al deze buizen uit één of misschien twee fabrieken in Rusland komen. Het voordeel van een merk als Sovtek is dat de 6N30 buisjes netjes gepaard worden verkocht. In de praktijk is dit geen overbodige luxe. De buisjes hebben een grote steilheid en dan kan de spreiding in versterkingsfactor al snel aanzienlijk zijn. Natuurlijk kun je andere voeding elco's proberen. Of uitgangstrafo's, of chokes, weerstanden of ander draad. Er is in feite dus geen grens aan het tweaken voor de onverbeten niet zelden permanent door onzekerheid verteerde 'modificator'. Mijn tip: draaf hierin niet te ver door. Speelt de versterker in je eigen oren lekker, laat hem eens voor langere tijd op zijn pootjes staan. Een versterker die contant op zijn rug ligt met de bodemplaat er naast, betekent dat er geen muziek mee wordt versterkt. En het gaat toch juist om de muziek?





Figuur 3: Vervorming als functie van frequentie bij verschillende vermogens

Figuur 4: Vervorming als functie van het uitgangsvermogen.

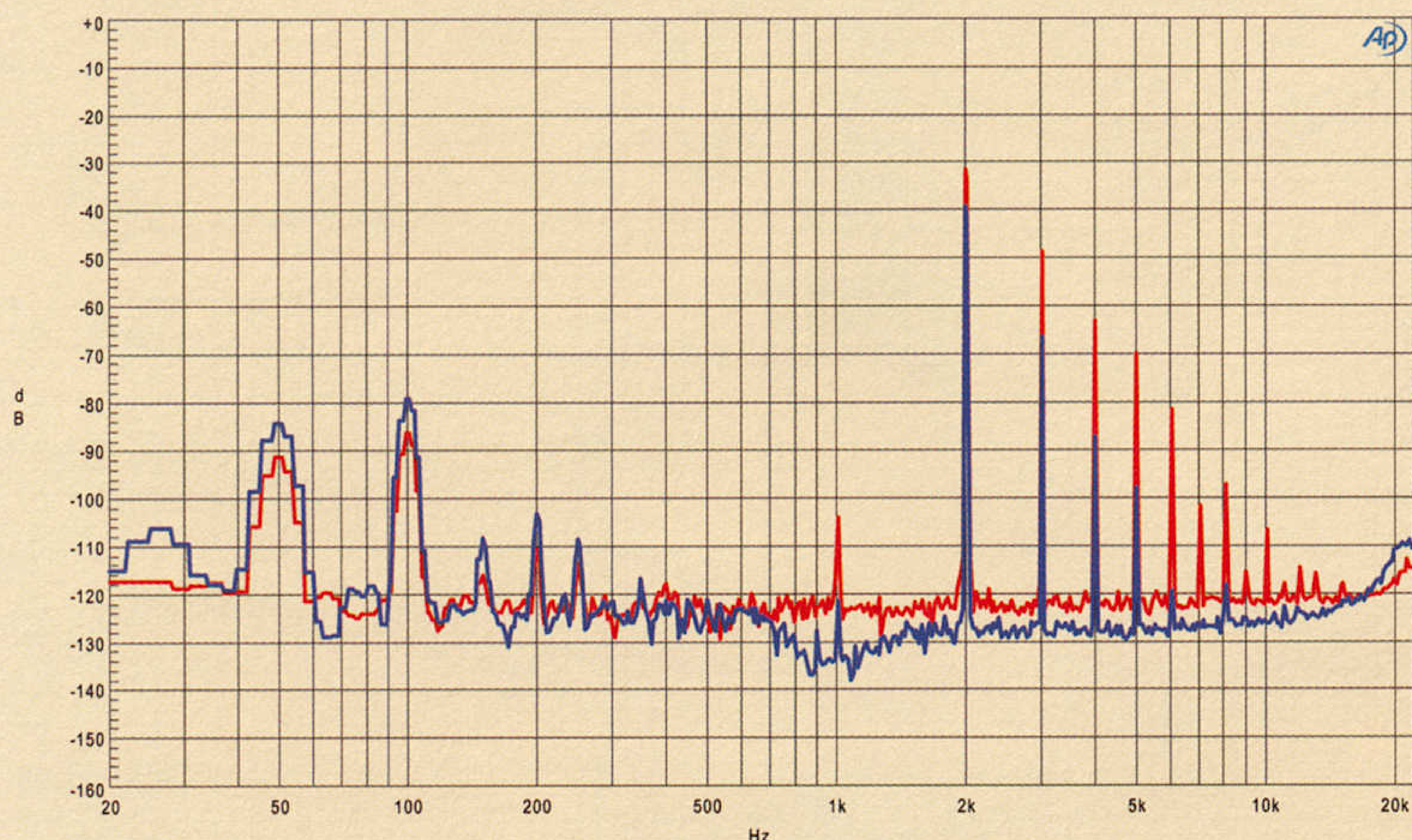
Vervorming en f-bereik

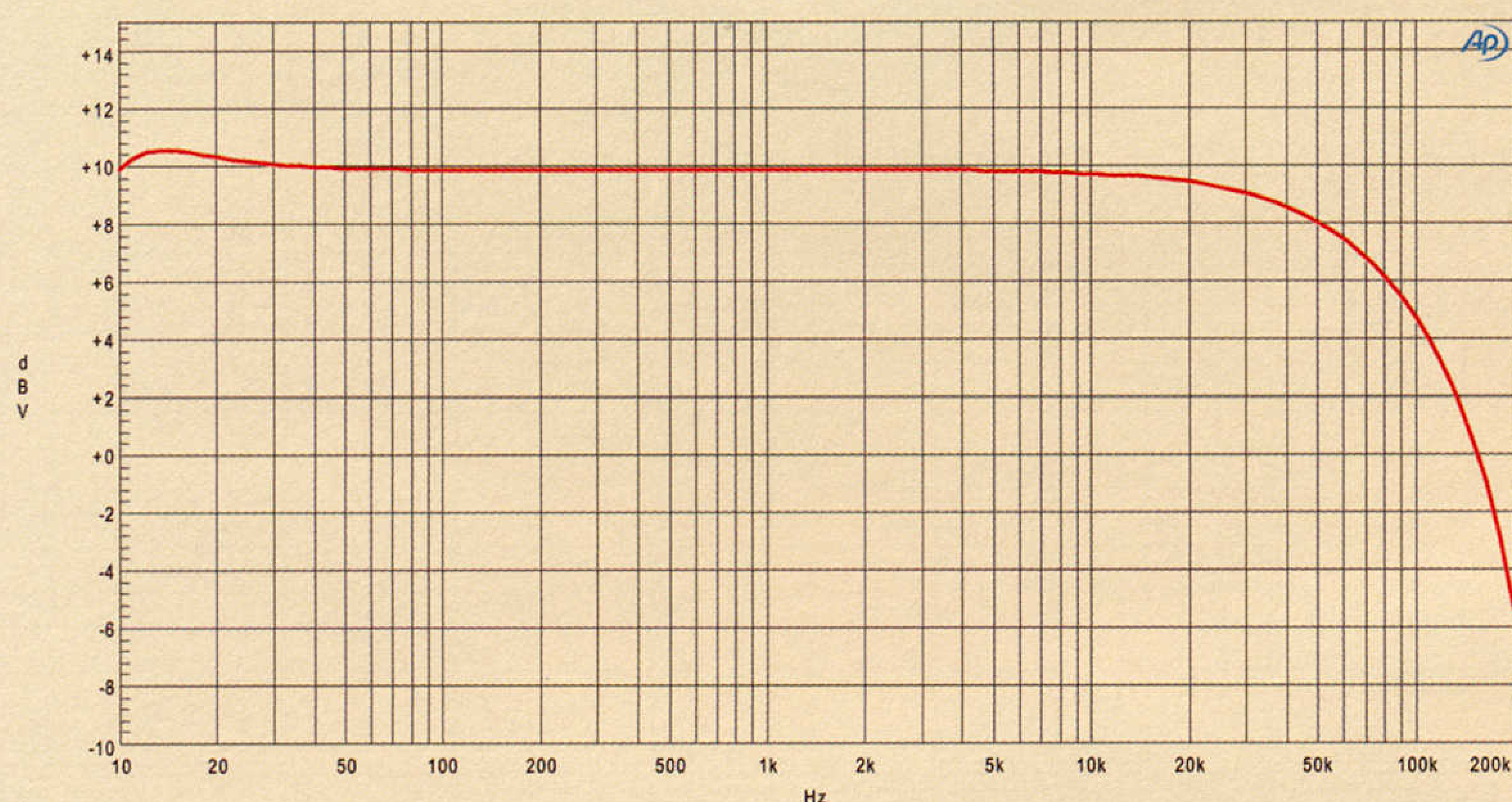
Figuur 3 toont de meting van de totale harmonische vervorming plus ruis en brom. Bij 1 watt in 8 Ohm ligt deze op 0,8%. Bij 8 watt aan de speakerterminals wordt 2,8% gemeten. Deze getallen wijken sterk af van vervormingen bij transistor versterkers. Daar meten we 0,000001 % enzovoort. Buizen vervormen meer, maar klinken beter en de hier gemeten vervormingscijfers zijn volledig acceptabel.

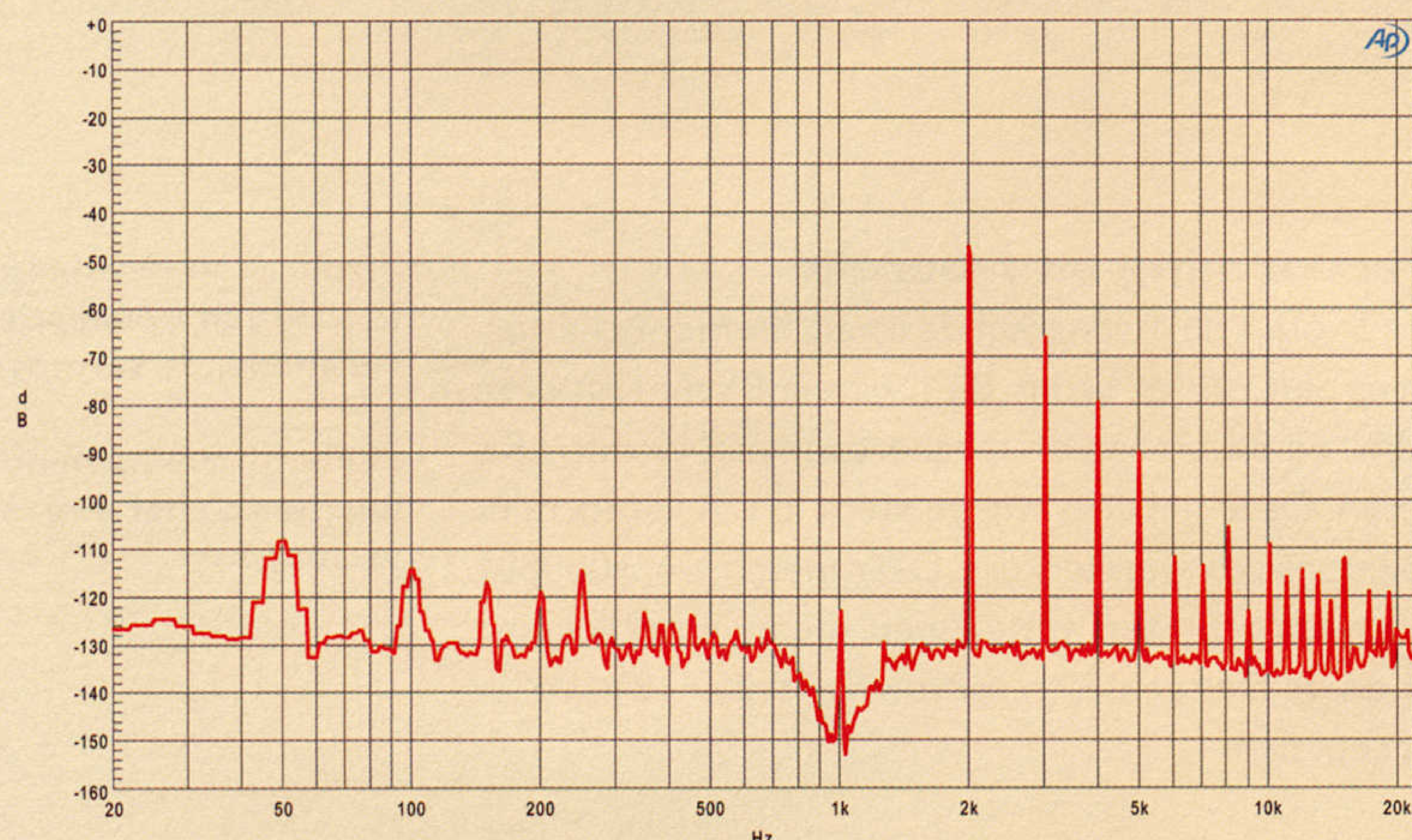
De extra headroom in het Klasse-A2 gebied is goed zichtbaar in de vermogen versus THD+n meting die in figuur 4 getoond wordt. Het 10% THD+n punt geeft bijna 15 watt te zien, zonder dat er sprake is van een harde clip.

Het FFT spectrum van 1 kHz vervormingsproducten tussen 1 en 8 watt geeft erg mooie aflopende harmonischen te zien. Figuur 5 laat twee metingen zien die bij 1 W en 5 W uitgangsvermogen zijn gedaan.

De frequentieresponsie van figuur 6 laat het -3 dB punt in het hoog vinden bij 67 kHz. Een hele nette waarde die door de eindtrap wordt bepaald. Aan het stuurroos-





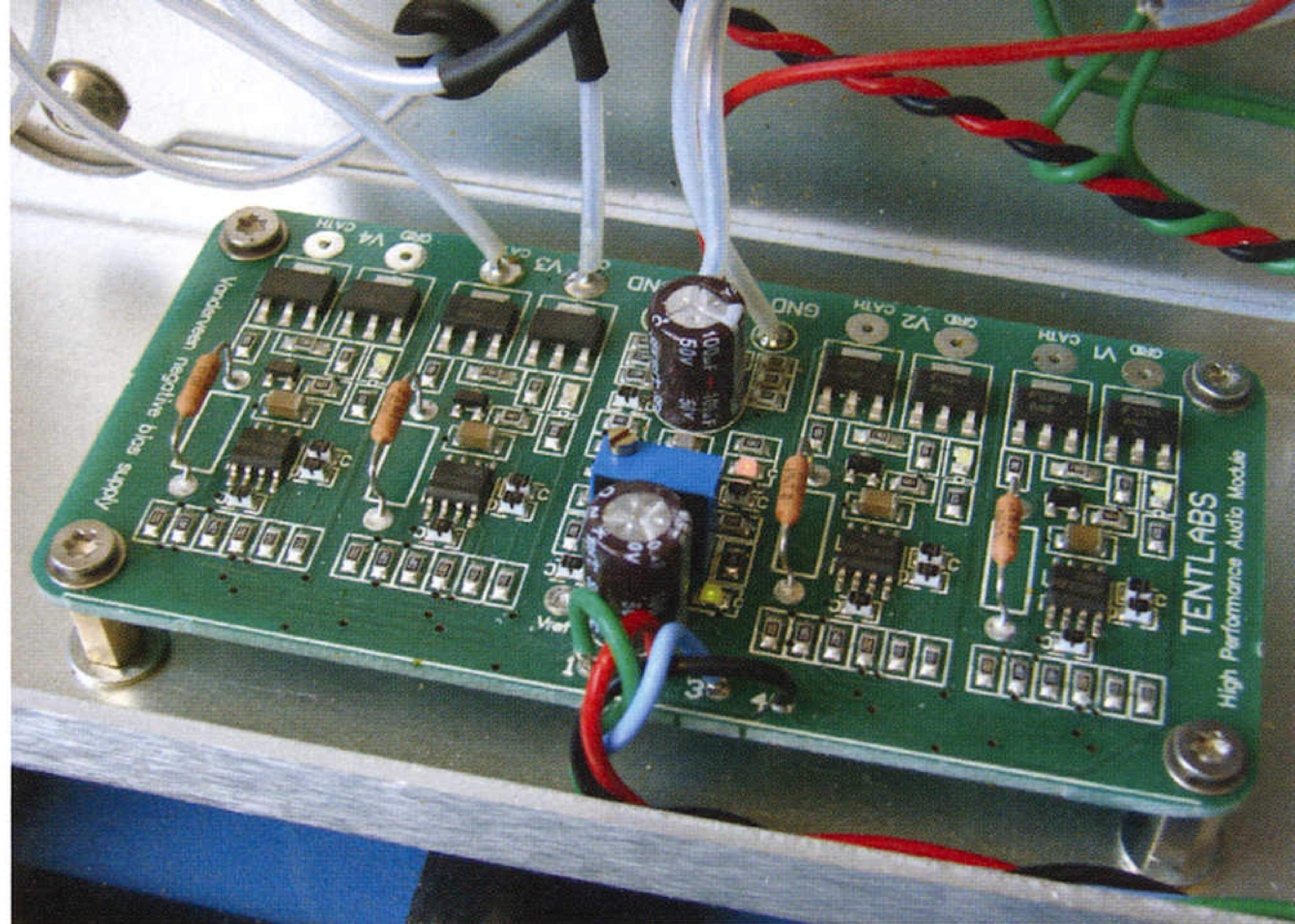


Figuur 5: Spectrale verdeling van de harmonische vervormingsproucten toont een typische single ended afname van de hogere harmonischen

Figuur 6: Frequentie responsie van de gehele versterker.

Figuur 7: Spectrale vervorming van de stuurtrap bij 50Veff uitgangsspanning.

ter van de 300B gemeten kom ik op 120 kHz (-3 dB) uit. De licht oplopende karakteristiek onder 30 Hz komt uit de interstagetrafo. Van traforesonanties of andere onregelmatigheden is binnen het meetbereik van 200 kHz niets te vinden. Prachtig. De driver kan zijn taak gemakkelijk aan.
Weer gemeten aan het stuurrooster van de 300B eindbuis geeft 50 Veff slechts 0,43% THD+n te zien, zie figuur 7.
Op het moment dat de eindbuis in het positieve gebied van de het 300B rooster wordt uitgestuurd zie je dat de stuurtrap hard moet ploeteren om zijn werk nog



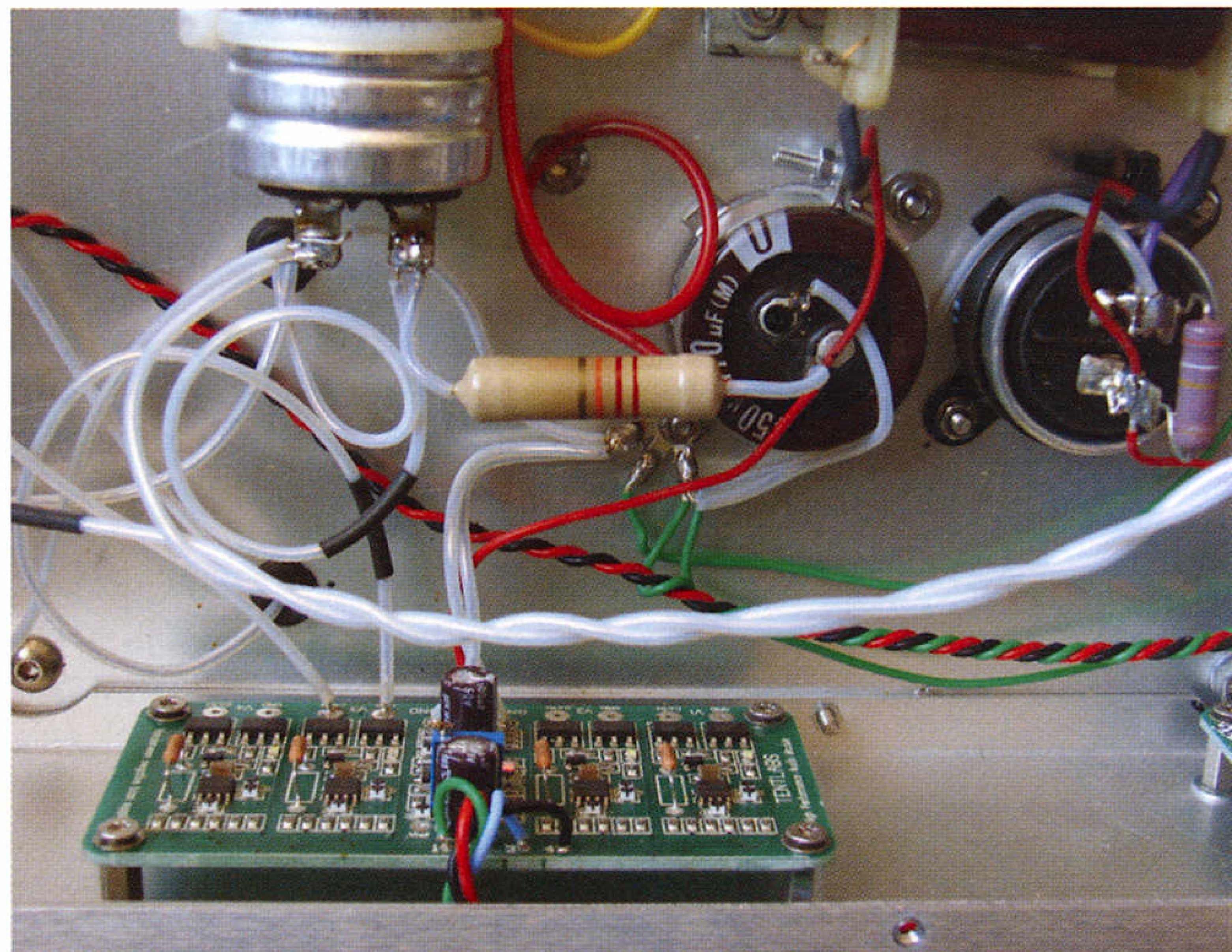


foto 3: detail Autobias

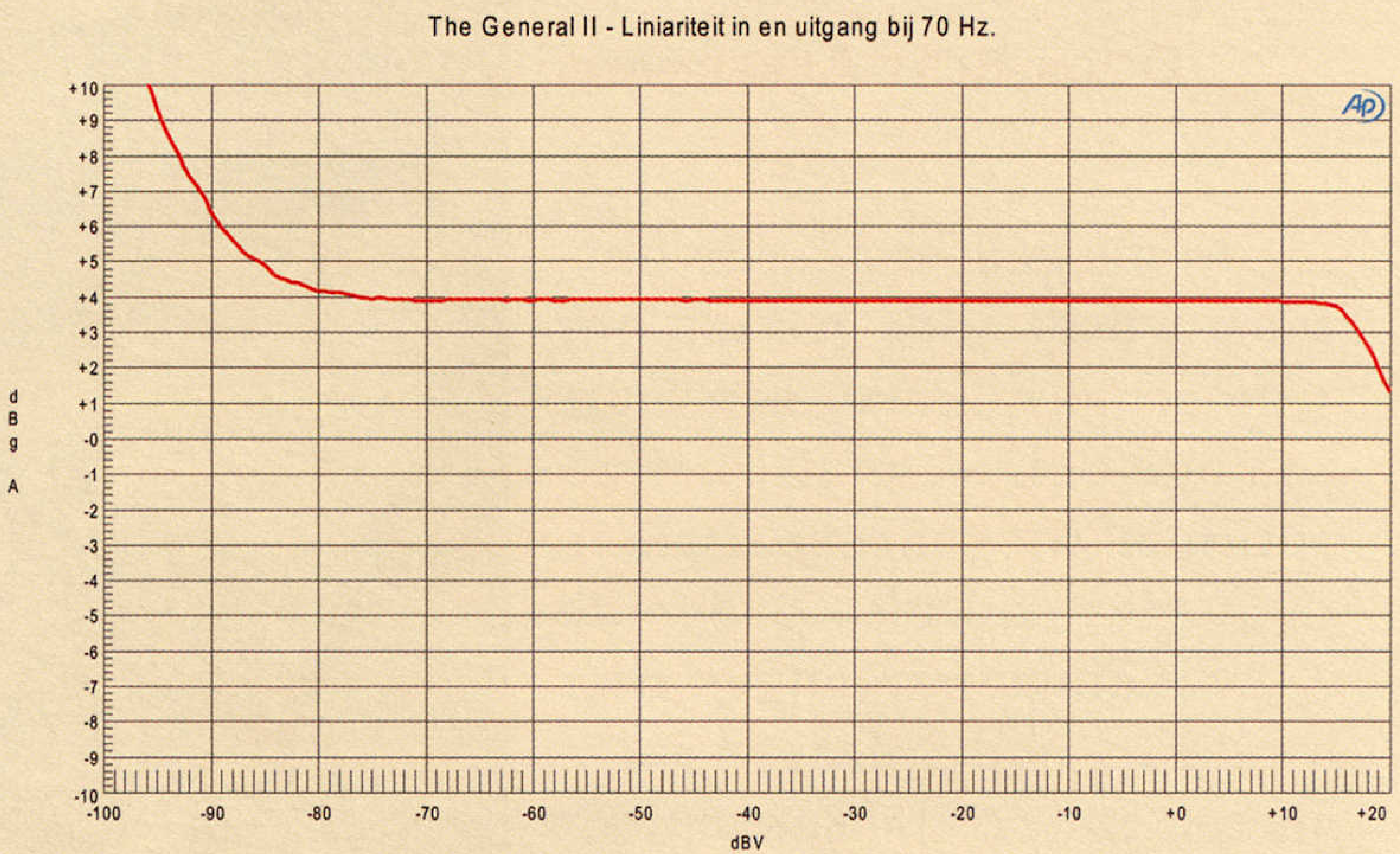
foto 4: detail opbouw binnenkant

goed te kunnen doen. Wil je dit Klasse A2 gebied nog verder uitbuiten dan is daarvoor een steviger stuurtrap nodig die nog veel laagohmiger is en meer uitgangstroom kan leveren. Op basis van een solid state stuurschakeling moet er bijvoorbeeld wel 20 watt te halen zijn. Ik houd me nu maar bij buizen, want het gaat niet alleen om vermogen.
De ingangsgevoeligheid is dusdanig dat er een voorversterker nodig is om de versterker goed zijn werk te kunnen laten doen. Voor 8 watt uitgangsvermogen is er 5,2 Veff aan de ingang van de 6N30 nodig, wat een goede voorversterker met twee vingers in de neus kan leveren. Ben je echter een enthousiast gebruiker van een passieve regelaar of wil je het liefst rechtstreeks vanuit een CD-speler werken, dan zou je de overgebleven buishelft van de 6N30 eventueel nog in kunnen zetten als extra voorversterkertrap. Maar dat gaat buiten dit verhaal om.

Nieuwe lineariteitsmeting

De lineariteitsmeting bij 70 Hz is een idee van Menno van der Veen. In de Elektor zelfbouw special van vorig jaar heeft hij de achtergrond daarvan uitvoerig beschreven. Het laat met name zien of muzieksignalen van heel zacht tot heel luid met gelijke versterking door de versterker gaan. Als dat niet het geval is, dan wordt in het geluid vooral de weergave van microdetails aangetast. Lees het stuk er nog eens op na als je het naadje van de kous wilt weten. Figuur 8 toont het resultaat van deze meting en dat ziet er goed uit.

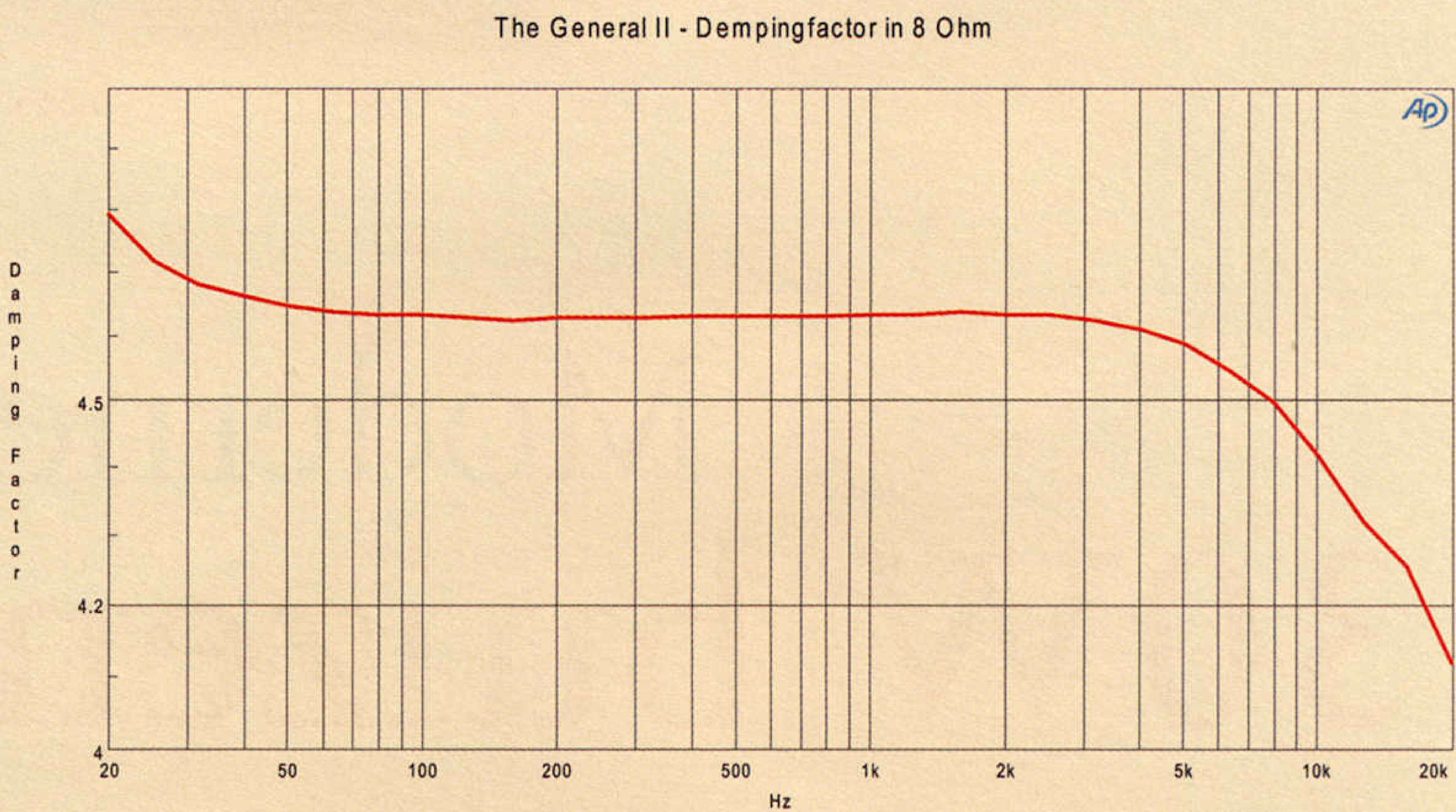
Op de horizontale as komt 0 dBV ingangsspanning overeen met een uitgangsvermogen van 0,44 Watt. Alles wat zich daaronder afspeelt, onder de 1 Watt dus, tot aan bijna -80 dBV daaronder is een rechte lijn. Het is hier interessant om te berekenen met hoeveel vermogen die -80 dBV overeen komt. Dat is 4,4 nano Watt, nagenoeg niets dus en daar zitten nou precies de microdetails waar wij zo graag naar luisteren. De oploop onder -80dB wordt veroorzaakt door het instralen van bromsignalen vanuit de voeding in de interstage en uitgangstransformatoren en daarom mogen we dit oplopen negeren. De versterker kan blijkbaar erg goed en constant met klein niveau signalen omgaan. Zo hoort het ook te zijn bij een single ended triode versterker. Deze munten per definitie uit in extreem goede weergave van microdetails en deze meting onderstreept dat nog eens.



Figuur 8: Lineariteit van de versterking bij 70 Hz.

Dempingsfactor

De dempingfactor is voor een SE triodeversterker zonder negatieve feedback niet eens zo beroerd met een waarde die zich rond 4,6 beweegt. Zie figuur 9 voor het resultaat van deze meting.



Figuur 9: Dempingsfactor als functie van de frequentie

Tot slot

Ik durf wel te zeggen dat deze General II een heel geslaagd project is geworden. De geluidskwaliteit, wat is er belangrijker, is echt top. De versterker is zo stabiel en betrouwbaar als een huis. En als laatste (maar niet het minste) noem ik ook nog: de bouw er van is goed te doen als je geen twee linkerhanden hebt en een beetje overweg kunt met elektronica en de soldeerbout. Bovendien zijn er geen zeldzame moeilijk te verkrijgen onderdelen gebruikt. Ik wens ieder veel luistergenoegen met deze bijzondere versterker.



Stuklijst per monoblok

R1: 22 kOhm/ 10 watt
R2: 100 kOhm/ 1 watt (Takman, Kiwame)
R3, R4: 1 kOhm/ 1 watt (Takman, Kiwame)
C1, C2: 10 uF/ 450 volt Icar (Conrad 477141-89)
C3: 470uF/ 450 volt elco (Nichicon)
C5: 220 uF/ 16 volt
300B
6N30P
GZ37/ CV378, 5U4, 5R4
Voedingtrafo: type 28372 (AE-Europe)
Smoorspoel: 10 Henry 150 mA amorfe kern (AE-Europe)
Uitgangstrafo: VDV3035SE (Amplimo)
Bouwmaterialen (AE-Europe)
Stroombronvoedingen en Bias Module (Tentlabs en Vanderveen)

Foto 5: Detail voedingscondensatoren

DOOR BERT AKKERMANS

In dit geavanceerde ontwerp wordt alles gedaan om de omgeving van een puur analoge buizenversterker zo optimaal mogelijk te maken. Met nadruk worden de voedingsspanningen met moderne hedendaagse technieken geoptimaliseerd. Het eigenlijke buizendeel betreft een balansversterker die op vele manieren valt in te stellen.

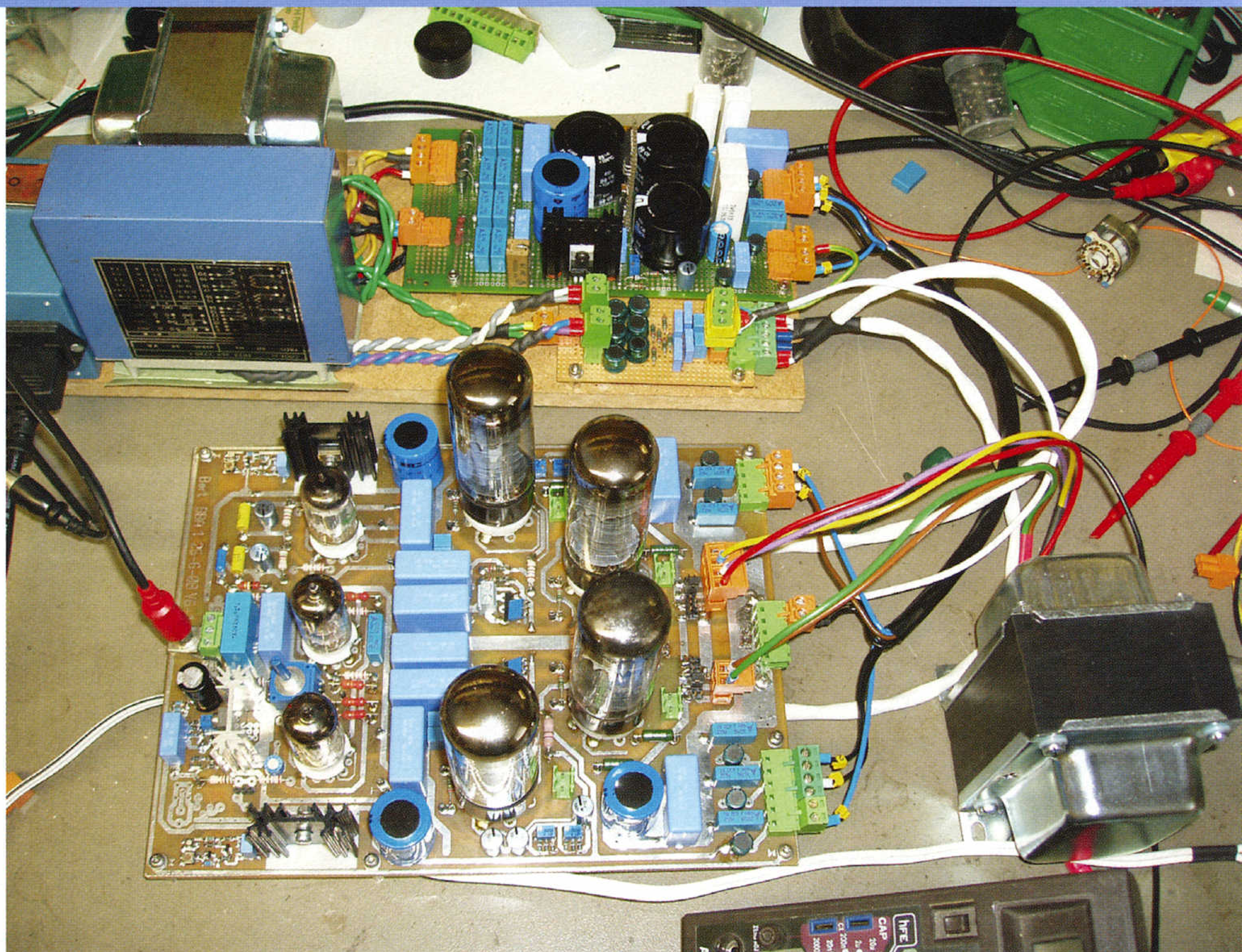


Foto 1: Versie 6 van de experimentele versterker in proefopstelling

Moderne Experimentele 30W buizenversterker

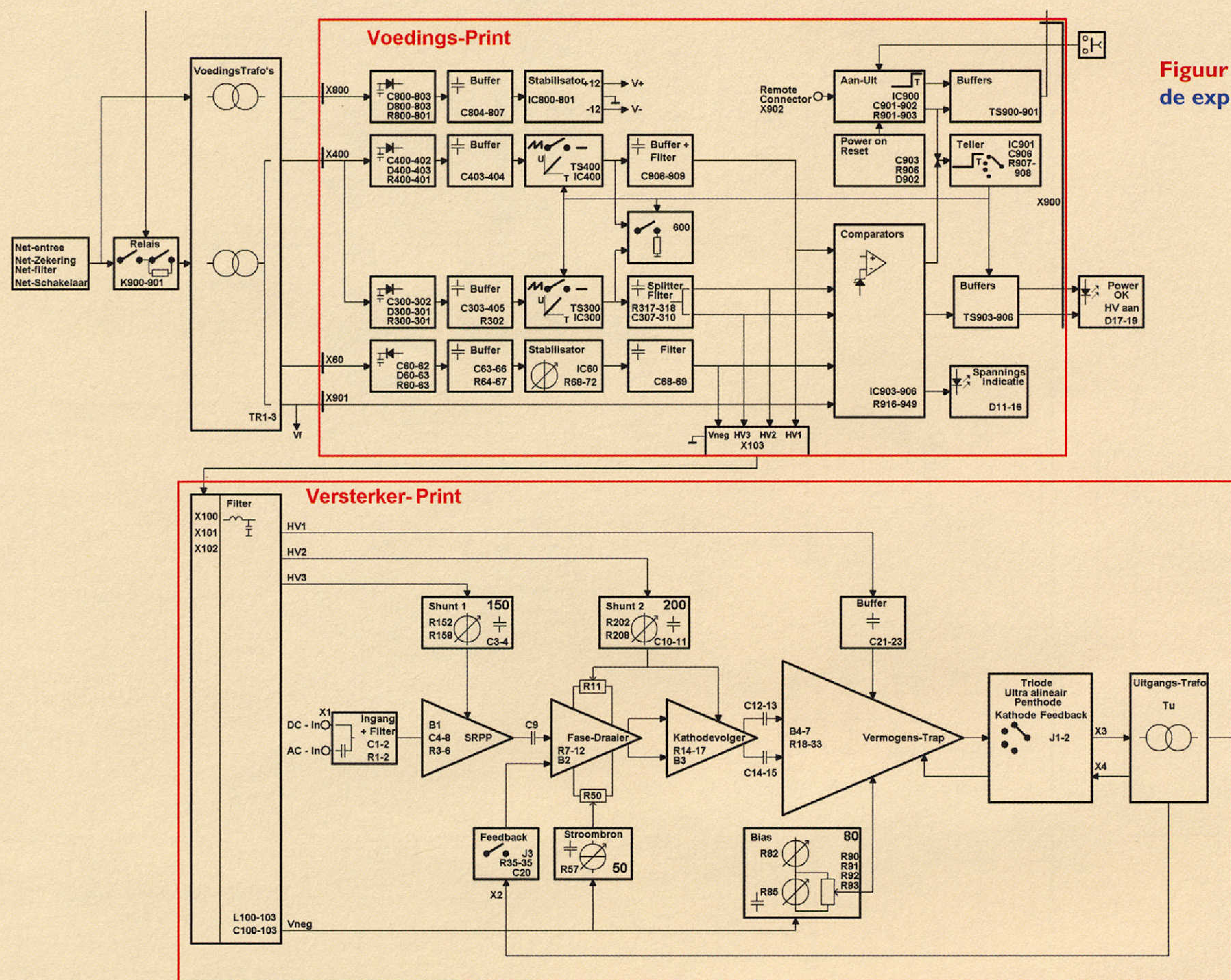
In het onlangs verschenen buizenboek (1) wordt in hoofdstuk 9 een universele versterker beschreven, aangeduid met de "project versterker". Door het omsolderen van enige draden kunnen daarmee meer dan 20 verschillende versterkerconfiguraties gebouwd worden. Deze benadering stimuleerde mij en ik besloot om dat concept op een uiterst moderne manier verder uit te gaan werken. Ik ontwikkelde een nieuwe moderne print waarbij de componenten in de signaalweg gewone draadcomponenten zijn. Alles daaromheen, zoals bijvoorbeeld de voeding, werden gerealiseerd met SMD componenten. Veel van de kennis die ik opdeed bij de cursus TubeSociety (2) is in dit moderne ontwerp verwerkt. De universele uitgang en voedingtransformatoren (VDV-GIT80 en POW80) nemen in het ontwerp een centrale plaats in. In totaal zijn er 7 versies van dit ontwerp gemaakt. Foto 1 geeft een indruk van versie 6. Hiermee zijn veel experimenten uitgevoerd die geleid hebben tot de definitieve versie 7, die in dit artikel wordt besproken.

Figuur 1 toont het blokschema van de versterker. Hierin zijn te onderscheiden: het netspanningsgedeelte met de voedingstrafo's, de voedingsprint en de versterkerprint. Deze delen worden verderop in detail besproken. Ik start met de bespreking van de voeding.

De voeding

Zie de figuren 2 en 3 voor een compleet overzicht van de schakeling van het voedingsgedeelte.

De voeding is zo ontworpen dat na het aanzetten met een drukknop op het frontpaneel eerst de voedingstrafo via een weerstand word ingeschakeld om grote stroompieken te vermijden, kort daarna wordt de weerstand kortgesloten. Pas wanneer de gloei en negatieve spanningen aanwezig zijn wordt een teller gestart en na een enige tijd (instelbaar met een jumper) komen de hoogspanningen langzaam op (via twee Fet's en optocouplers). Deze langzame voorzichtige start verlengt de levensduur van de buizen. Mocht er iets mis gaan met de gloei of negatieve spanning, dan worden de hoogspanningen door de optocouplers direct afgeschakeld en automatisch ontladen. Als de voeding door dezelfde drukknop wordt uitgezet ontladen de hoogspanningen automatisch. Ieder deel van de versterker heeft zijn eigen hoogspanning. Door middel van zes leds wordt de status van de spanningen aangegeven en als deze allemaal hun waarde bereikt hebben gaat een groene led op het front aan. Een rode led geeft aan wanneer de hoogspanning ingeschakeld is. Elke versterkertrap heeft zijn eigen voeding waarvan Vneg, HV2 en HV3 regelbaar zijn.



Figuur 1: Blokschema van de experimentele versterker

De voeding bestaat uit zes delen met ieder een eigen componentnummering, die allen hierna in detail besproken en uitgelegd worden.

1. *De negatieve spanning Vneg, componenten met 60–70 nummers.*
2. *De hoogspanning voor de eindtrap HV1, componenten met 400 nummers.*
3. *De hoogspanningen voor de fasedraaier HV2 en de voortrap HV3, componenten met 300 nummers.*
4. *Het ontlaadcircuit, componenten met 600 nummers.*
5. *De voeding voor de besturing V+ en V-, componenten met 800 nummers.*
6. *De besturing, componenten met 900 nummers.*

De negatieve spanning Vneg

De wisselspanning voor Vneg wordt eerst gefilterd en gelijkgericht (R60-63, C60-62, en D60-63), waarna een C-R-C netwerk de afvlakking verzorgt (C63-666 en R64-67). Voor de stabilisatie zorgt een standaard negatieve driepoot LM337 regelaar (IC60). Omdat hierover maar 40V mag staan is deze beveiligd door een 1W zenerdiode van 27V (D64). De spanning is in te stellen met R68 en loopt van -30,7V tot -61,5V. D65 en R71-72 zorgen ervoor dat de stroombegrenzing van 1.5A (in de LM337) naar 200mA wordt teruggebracht. C68-69 zorgen voor de laatste filtering.

De hoogspanning HV1

De wisselspanning voor de hoogspanning wordt gesplitst in twee delen, voor de eindbuizen HV1 en voor de voortrappen, HV2 en HV3. De eerste wordt gefilterd en gelijkgericht (R400-401, C400-402, en D400-403), waarna C403-404 voor de afvlakking zorgen. R402-411 zorgen voor de ontlading bij spanningsafval. Hierna volgt een Fet schakeling welke drie functies heeft:

A. Het langzaam opkomen van HV1 (C405, R412-418 TS400). Het ontladen van C405 in de "uit" situatie gebeurt via R417-418, TS401 en de componenten rond het ontlaadcircuit (600).
B. Als rimpelstrijker met dezelfde componenten als hierboven. Deze zorgt ervoor dat de voedingsrimpel op de eindtrap minder dan 40mVtt is.
C. De "schakelaar" voor het aan en uitzetten van de hoogspanning (IC400, TS400-402, R419-420). De optocoupler IC400 zorgt voor een galvanische scheiding met het stuurcircuit.

Als de hoogspanning wordt vrijgegeven door het stuurcircuit gaat optocoupler IC400 geleiden, waardoor TS401 en 402 uit geleiding gaan. Nu is de gate van de Fet TS400 vrijgegeven en wordt C405 langzaam via de weerstanden R412-416 opgeladen. De spanning op de gate stijgt waardoor ook de source spanning (=HV1) stijgt. De grote RC tijd zorgt er ook voor dat de gate een zeer stabiele spanning heeft waardoor een voedingsrimpel op de source onderdrukt wordt. Als de Fet via de optocoupler afschakelt, wordt C405 via R417-418, TS401 en het ontlaadcircuit ontladen. Na de Fet volgen de buffercondensatoren C406-407 en C407-408 zorgen voor de extra filtering. R421 en het ferrietkraaltje L400 zorgen dat de Fet niet gaat oscilleren.

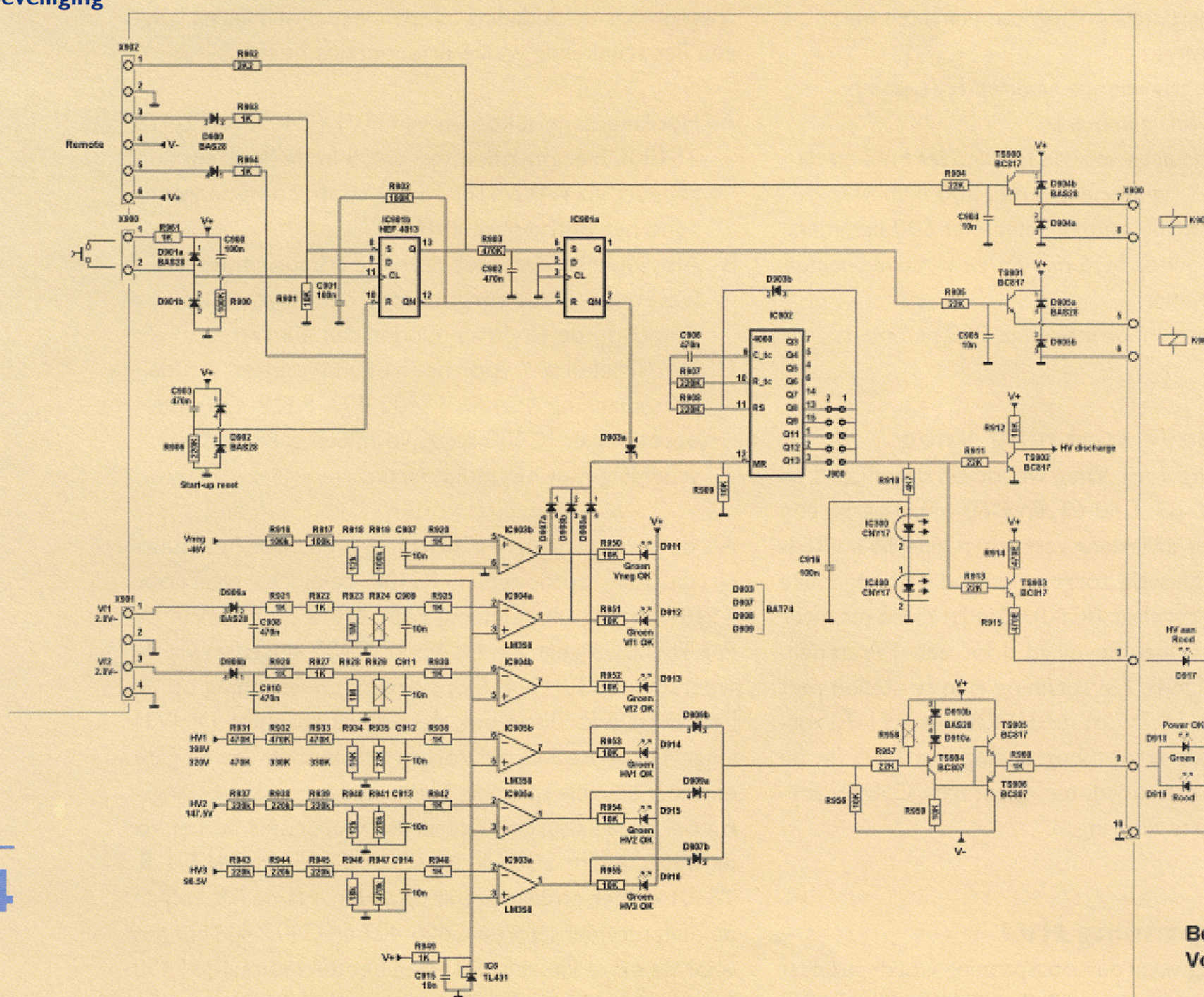
BertsBuizenAmp BBA 1
Voeding A v 7-2

Bert Akkermans 21 - 8 - 2009

Figuur 2: Voeding: netspanning en gelijkrichting en stabilisatie



Figuur 3: Voeding: timing en beveiliging



De hoogspanningen HV2 en HV3

Voor HV2 en HV3 geldt ongeveer hetzelfde als voor HV1: Filtering en gelijkrichting worden verzorgd door R300-301, C300-302 en D300-301. Hierna volgt een C-R-C netwerk C303-305 R302 voor rimpelonderdrukking. De spanning wordt ontladen via weerstanden R303-307. Ook Fet-schakeling is weer het zelfde als bij HV1. Het opstartcircuit en rimpelstrijker worden gevormd door C306, R308-314 en TS300. De schakelsectie bestaat uit IC300, TS300-302 en R315-316. Na de Fet wordt de spanning gesplitst via vermogensweerstanden R317 en R318 voor HV2 en HV3. Op dit knooppunt is ook het ontlaadcircuit aangesloten. Na de weerstanden zitten weer extra filter condensatoren C307-310. Deze hoogspanningen gaan dan verder naar de versterkerprint waarop voor beide een extra bufferelco zit en een regelbare shuntstabilisator, maar daarover later meer.

Het ontlaadcircuit

Het automatisch ontlaadcircuit bestaat uit vermogensweerstand R602 en TS600. D600 en 601 zorgen er voor dat de twee hoogspanningen elkaar niet beïnvloeden. TS600 wordt bestuurd met het geïnverteerde signaal (TS902) dat ook de optocoulers IC300 en 400 aan en uit zet (Via R600-601).

De voeding V+ en V-

De voeding voor het stuurcircuit heeft een eigen transformator en wordt alleen aan en uit gezet met de netschakelaar. Dit is een standaard voeding rond de twee spanningsstabilisatoren 7812 en 7912 die zorgen voor de V+ (+12V) en V- (-12V).

De besturing

De besturing bestaat ook weer uit een aantal blokjes:

A. Het "aan-uit" circuit met een inschakelvertraging om de weerstand tegen de inschakelpieken kort te sluiten. Dit is opgebouwd rond een D-flipflop 4013 (IC900). Het eerste deel van de FF is als tweedeler geschakeld met een RC netwerkje (C901, R902) van de Qn(12) naar de D-ingang. In rust is de Qn hoog en daarmee ook de D-ingang. Als de CL (clock 11) nu naar hoog gaat door de drukschakelaar, wordt de "1" van de D overgenomen door de Q-uitgang (13). Als Q hoog, wordt Qn laag en door de RC-tijd wordt de D iets later laag. Tijdens die tijd reageert de schakeling niet op de drukknop en fungeert als anti-dender schakeling. Het hoog-signaal van de Q-uitgang gaat naar een buffer (TS900) dat een relais (K900) schakelt en de voedingstrafo plus gloeispanningstrafo krijgen spanning. Wanneer de drukknop nogmaals wordt ingedrukt valt het relais weer af en de voeding is uit.
De tweede flipflop van IC900 dient als inschakelvertraging. De Q-uitgang van de eerste FF (13) is via een RC netwerk (R903, C902) verbonden met de S-ingang (6) van de tweede FF. Hierdoor wordt de Q-uitgang (1) van deze FF na ongeveer 150mS hoog. Deze uitgang is ook weer verbonden met een buffer (TS901) en relais K901. Als dit relais inkomt wordt de weerstand (R1000) in serie met de netspanning van de voedingstrafo's kortgesloten. Deze weerstand begrenst de inschakelstroom.
Op de eerste FF is nog een remote optie aanwezig (via X902), maar die wordt nu nog niet gebuikt. Deze is om later twee versterkers met optocouplers te koppelen en via 1 drukknop of afstandsbediening aan en uit te zetten.

B. Het tweede blokje is een teller rond een 4060 (IC901). Deze bestaat uit een oscillator met drie externe componenten (C906 en R907-908) en een teller die de klokpuls steeds door twee deelt. Met behulp van jumper J900 kan men de tijd steeds verdubbelen. De diode D903b zorgt ervoor dat als de betreffende uitgang hoog wordt, de oscillator stopt en de teller blijft staan. De teller begint pas te lopen wanneer de MR-ingang (12) laag wordt. Dit gebeurt echter pas als er aan twee voorwaarden voldaan zijn: 1) Als het "aan-uit" circuit gestart is en de inschakelbegrenzing is kortgesloten; dan geldt dat Q(1) is hoog en Qn(2) is laag. 2) Als de comparators van de gloeispanningen Vf1 en Vf2 en die van de negatieve spanning Vneg alle drie een laag-signaal geven (wat betekend dat deze alle drie aanwezig zijn), dan begint de teller te lopen. Als vervolgens de gekozen uitgang hoog wordt, wordt de hoogspanning vrijgegeven en het ontlaad-circuit uitgezet.

C. Het derde blokje bestaat uit de comparators IC903-905. De spanningen Vf1, Vf2, Vneg, HV1, HV2 en HV3 worden eerst met een weerstandsdeling gedeeld en daarna vergeleken met een referentiespanning (IC6). Dit geldt niet voor Vneg. Die wordt van de referentie afgetrokken en dan vergeleken met 0V. Als de spanningen hun waarde bereikt hebben wordt de uitgang van de betreffende comparator negatief en gaan de LED's D911-916 aan. De uigangen van comparators Vf1 (IC904a-1), Vf2 (IC904b-7) en Vneg (IC903b-7) gaan via diodes D907a, D908a en D908b naar de MR-ingang van de teller. De uitgangen van comparators HV1 (IC905b-7), HV2 (IC905a-1) en HV3 (IC903a-1) gaan via diodes D909b, D909a en D907a naar een indicatie circuit rond TS904-906. Als alle spanningen correct zijn gaat de rode LED (D919) uit en de groene (D918) aan.

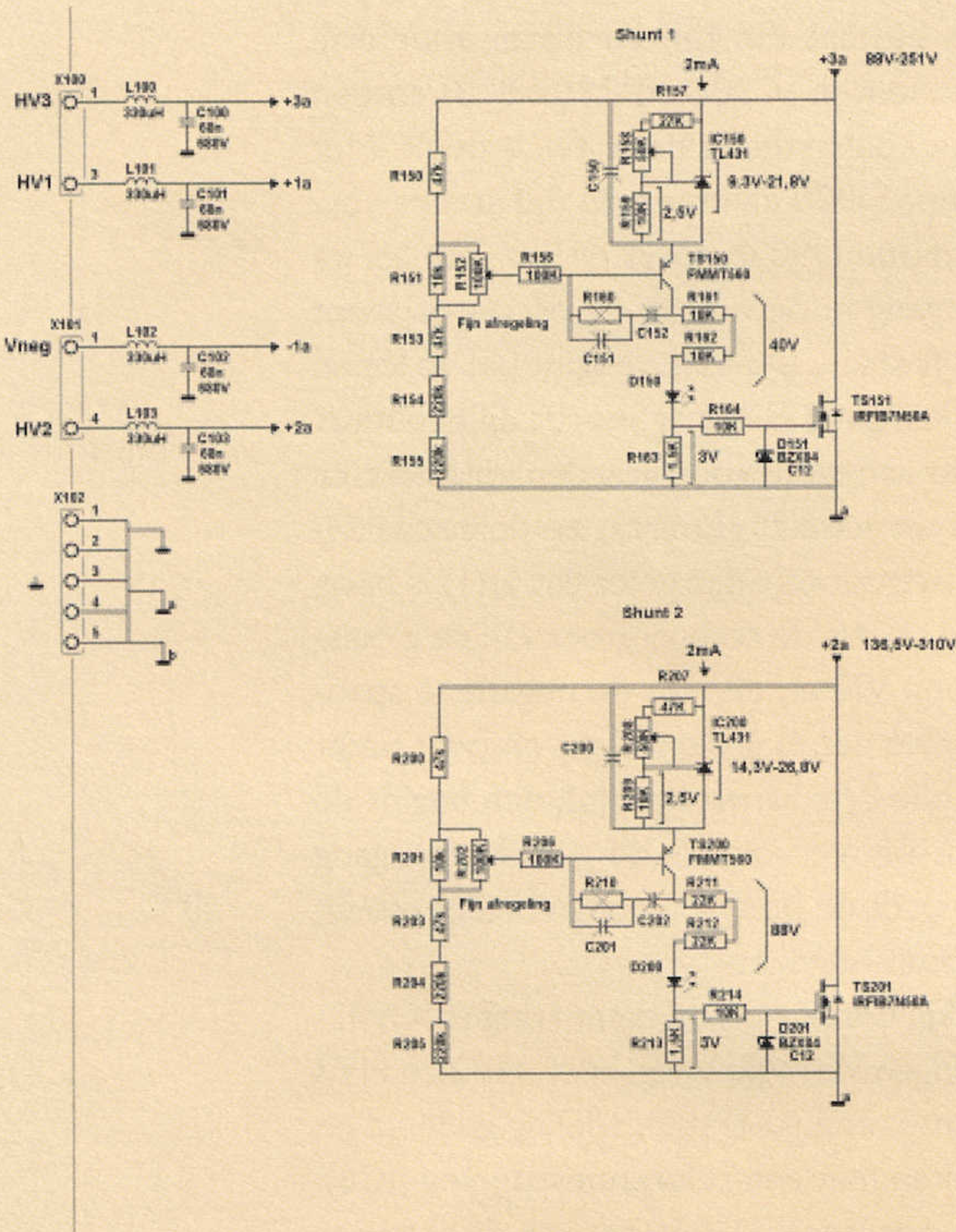
De opstartvolgorde is dus als volgt: Netschakelaar aan → stuurcircuit komt op spanning en wordt gereset. De voeding en versterker staan stand-by en rode LED D919 is aan. Drukschakelaar wordt ingedrukt → de voedingstrafo's worden via de begrenzingsweerstand ingeschakeld → 150mS later wordt deze kortgesloten → Vf1, Vf2 en Vneg komen op.

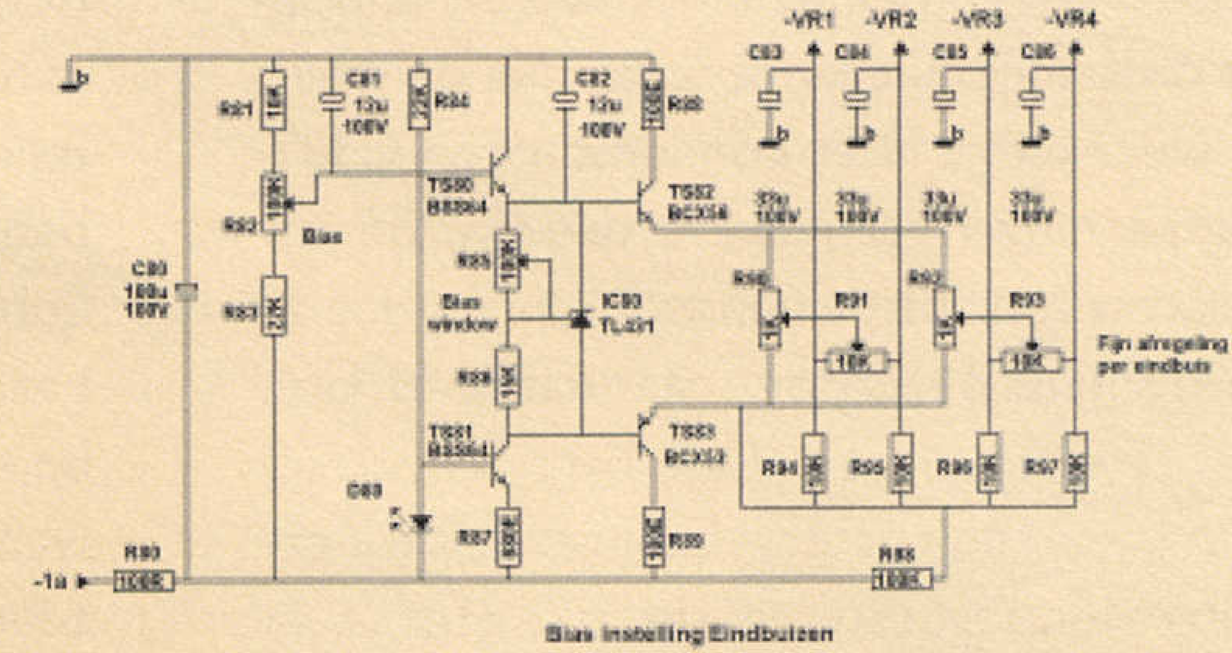
Als Vf1, Vf2 en Vneg hun waarde bereikt hebben wordt de teller gestart en kunnen de buizen opwarmen. Na een paar minuten worden de hoogspanningen vrijgegeven → Rode LED "HV aan" D917 is aan en de hoogspanningen komen langzaam op. Het ontlaadcircuit is uitgezet → de indicatie LED's gaan één voor én aan. Als alle spanningen hun waarde bereikt hebben gaat de rode LED D919 uit en de groene "Power OK" D918 gaat aan. De versterker is nu klaar voor gebruik.

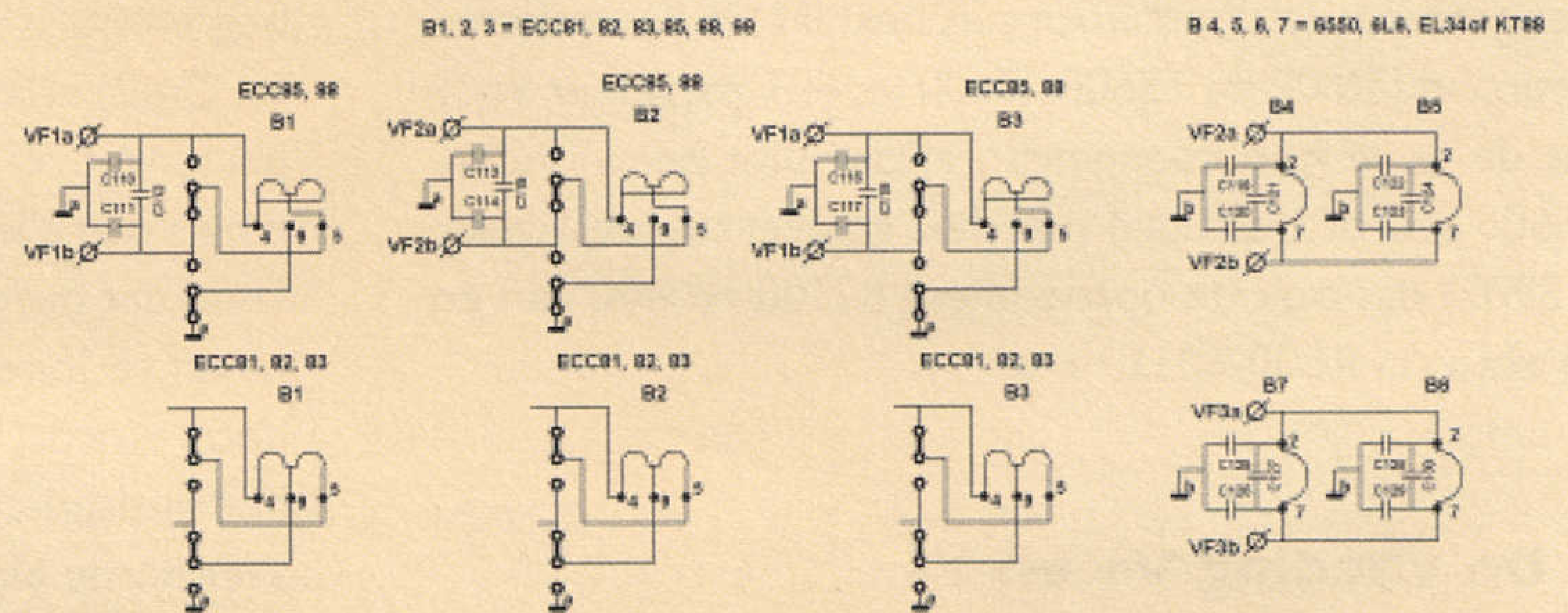
De versterker

De blokschema's van de versterker staan in de figuren 4 en 5. Zoals bij de voeding bestaat ook de versterker uit een aantal blokken:

1. *Het voedingsfilter, componenten met 100 nummers.*
2. *De shuntstabilisatoren, componenten met 150 en 200 nummers.*
3. *De stroombron voor de fasedraaier, componenten met 50 nummers.*
4. *De buffer voor de eindtrap.*
5. *De biasinstelling van de eindtrap, componenten met 80-90 nummers.*
6. *De voortrap.*
7. *De fasedraaier.*
8. *De kathodevolger.*
9. *De eindtrap met uitgangstrafo en keuze van eindtrapconfiguratie.*
10. *De terugkoppeling (overall feedback)*



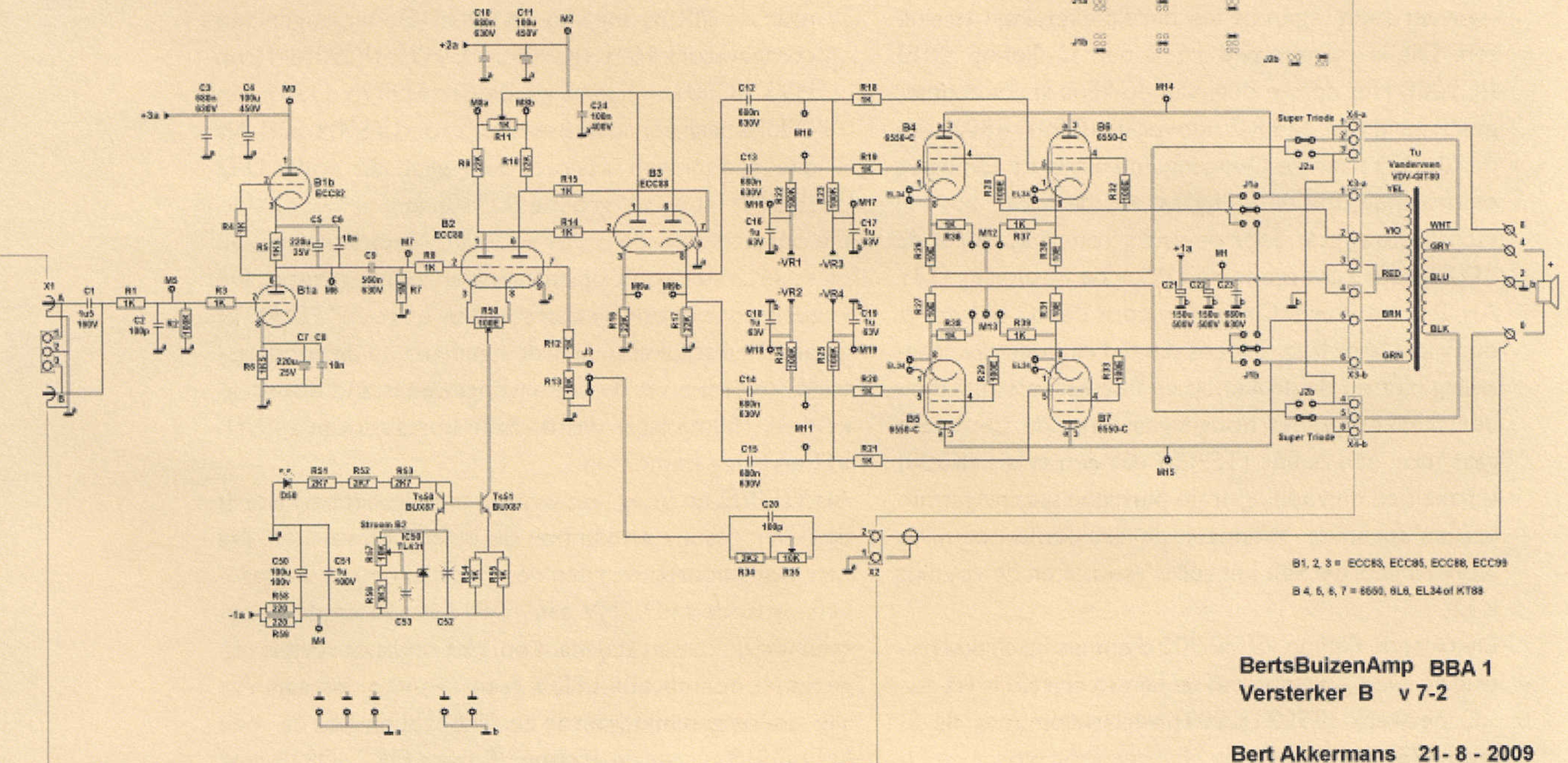




BertsBuizenAmp BBA 1
Versterker A v 7-2

Bert Akkermans 21 - 8 - 2009

Figuur 4: Schema versterkerdeel: voedingen en regelaars



Figuur 5: Schema versterkerdeel: analoog circuit

Het voedingsfilter

De voeding komt binnen op connectoren X100-102. Elke voedingsspanning is hoogfrequent ontstoord door een LC filter (L100-103 en C100-103).

Shunt 1 en 2

De voedingsspanningen van de voortrap en fasedraaier en kathodevolger worden gestabiliseerd door een regelbare shunt. Het voordeel van een shuntstabilisator is dat de stoorsignalen direct worden afgevoerd naar massa, ze hebben echter wel een serieweerstand nodig. De schakeling is opgebouwd rond een regelbare shunt TL431 (IC150 en 200). Deze heeft een referentiespanning van 2,5V en door middel van twee weerstanden kan men die instellen tussen 2,5V tot 36V. Deze regelbare referentie zit op de emitter van de stuurtransistor (TS150) waarvan de basis met een (regelbare) spanningsdeler verbonden is met de voedingsspanning. Gaat deze voedingsspanning omhoog, dan gaat de transistor meer geleiden en loopt er meer stroom door de weerstanden R161-163. De spanning over R163 laat de Fet (TS151 en 201) meer geleiden, de voedingsspanning zakt en de spanning stabiliseert zich. Potmeter R158 is voor de grofinstelling en R152 voor de fijninstelling. De spanning van shunt 1 is instelbaar van 88 tot 250V en die van shunt 2 van 137 tot 310V. Let op! De stroom die deze shunts met de voorgeschreven koellichaampjes mag slechts 10 à 20mA zijn. Afhankelijk van de afgeregelde spanning HV2 of HV3 en HV1 moeten zo nodig de weerstanden R317 en 318 aangepast worden.

De stroombron

Vaak zie je bij een verschilversterker als fasedraaier bij de twee kathodes een gemeenschappelijke weerstand. Het nadeel hiervan is dat de versterking van beide takken niet precies gelijk is. Je ziet dan ook vaak dat deze takken verschillende anodeweerstanden hebben. Omdat ik een zo groot mogelijke gelijkloop van deze trap wil hebben en ik de stroom wil kunnen variëren heb ik gekozen voor een regelbare stroombron. Een stroombron heeft een bijna oneindige uitgangsweerstand. Gebruik je deze als gemeenschappelijke kathodeweerstand, dan worden het verschil van versterking en de vervorming erg laag.
De stroombron bestaat uit een stroomspiegel (TS50-51). De emitterspanning van TS50 wordt vastgezet door een regelbare referentiespanning (IC50) en door het stroomspiegel principe staat deze spanning ook op de emitter van de tweede transistor TS51. Deze spanning staat dus over R54-55 en daarmee is de collector en emitterstroom van TS51 bepaald. Door nu de referentiespanning te regelen kan men dus de collectorstroom regelen. De twee transistoren zijn hetzelfde type en door ze samen op een koelpaatje te zetten krijgt men een zeer stabiele stroombron die vrijwel temperatuur onafhankelijk is. Als regelbare referentiebron gebruik ik weer de TL431 die door middel van weerstanden regelbaar is van 2,5 – 10V, hierdoor is de stroombron regelbaar van 5 – 20mA.

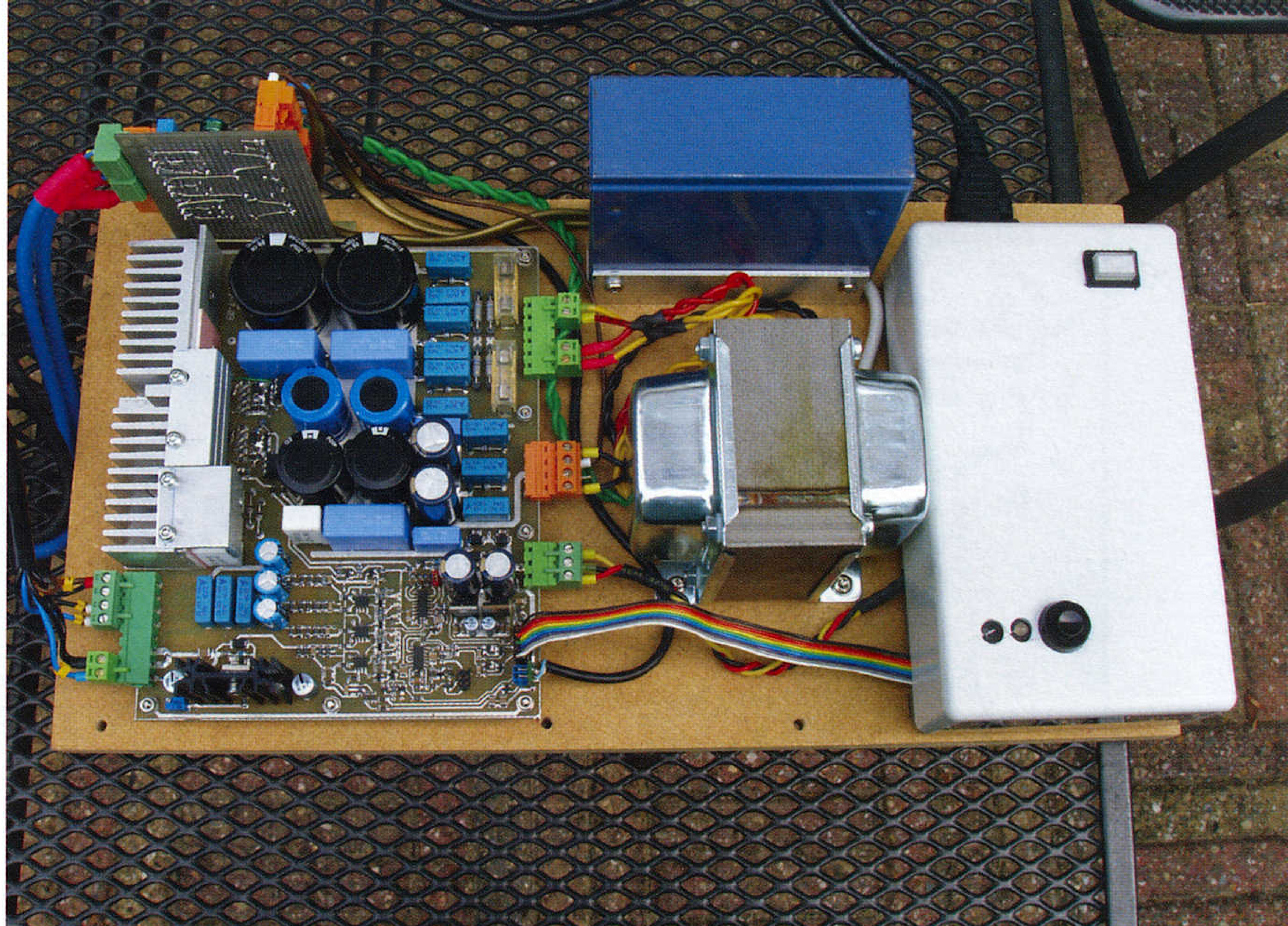


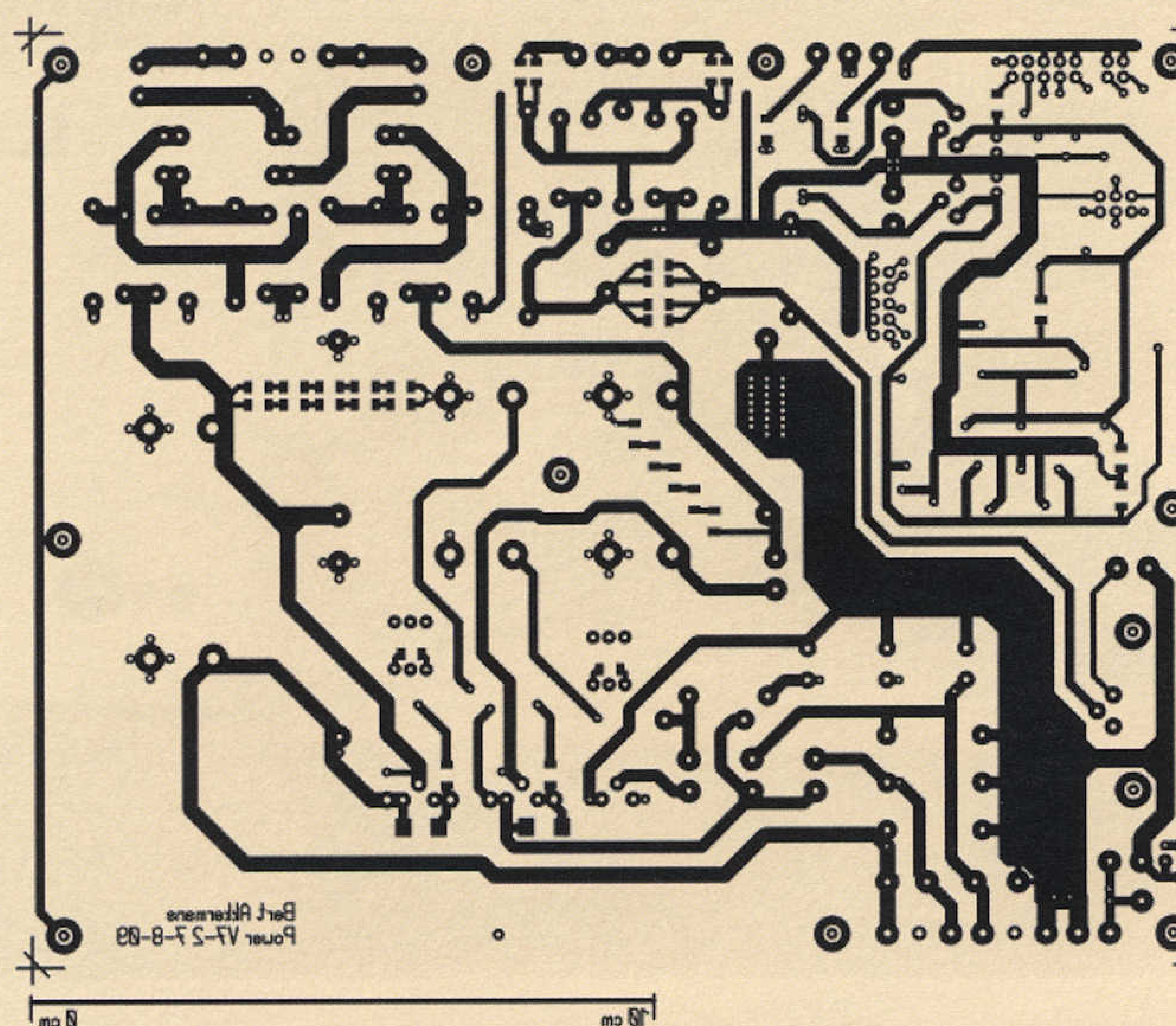
Foto 2: Gemonteerde voedingsprint

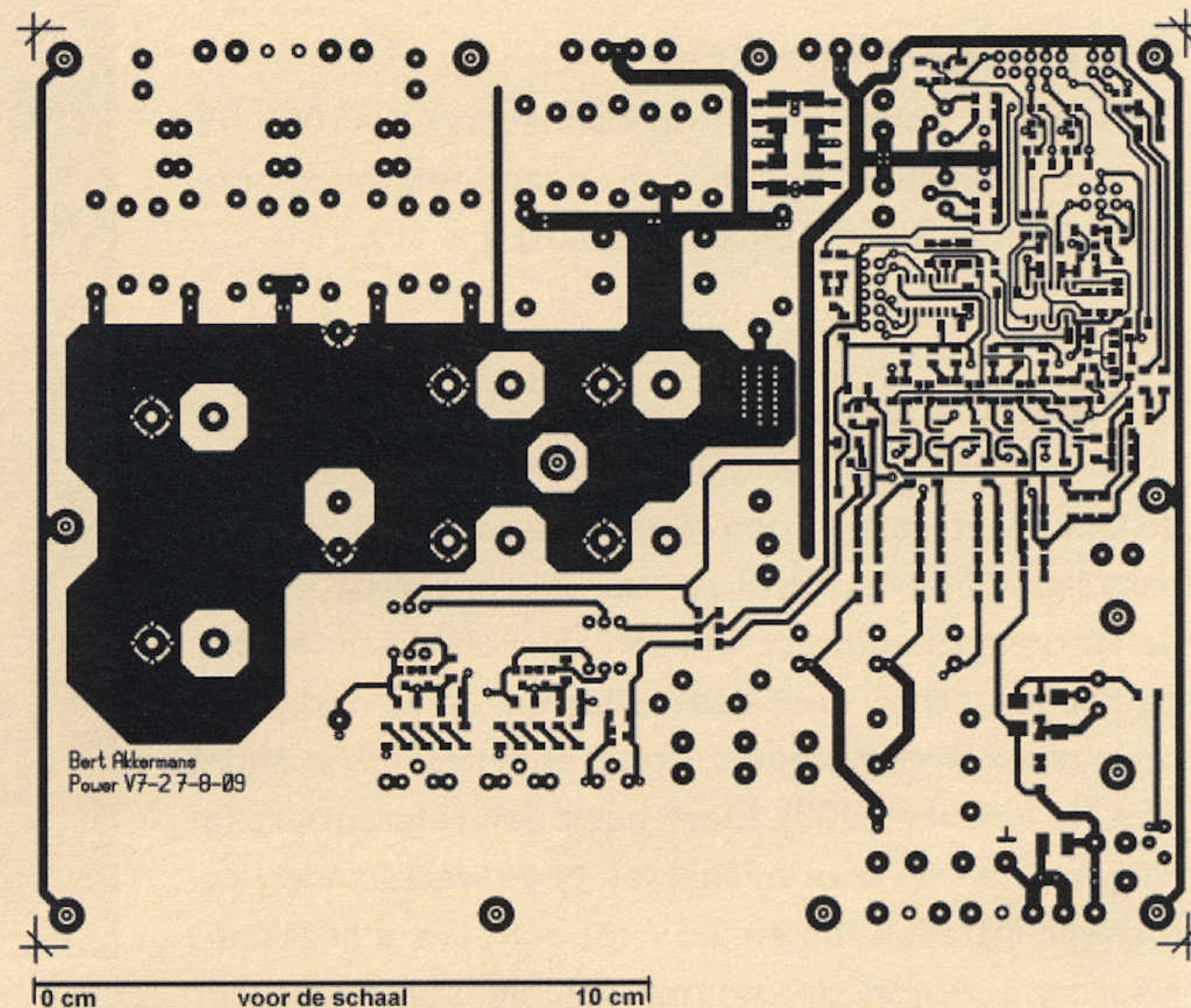
De buffer van de eindtrap

De buffer bestaat uit twee elko's (C21-22) en een MKP condensator (C23) voor hoogfrequent gedrag. Deze condensatoren zitten zo dicht mogelijk bij de aansluiting naar de uitgangstrafo en de eindtrap.

De biasregeling

De biasregeling verzorgt de instelling van de ruststromen door de eindbuizen door middel van een instelbare negatieve spanning op de stuurroosters. Het is heel belangrijk dat de buizen exact dezelfde ruststroom hebben. Dit komt de geluidskwaliteit zeer ten goede, vooral de weergave van microdetails wordt hierdoor optimaal (3).
Daarom heb ik gekozen voor een niet alledaags ontwerp van de biasregeling. Het idee was om met een potmeter de bias voor alle vier de buizen tegelijk grof in te stellen om daarna elke buis te kunnen optimaliseren, waarbij je het regelbereik van de optimalisatie ook nog kan instellen. Dit laatste is nodig omdat bij niet gepaarde buizen de fijninstelling een groter regelbereik nodig heeft. De regeling bestaat eigenlijk uit twee regelbare spanningsbronnen die in serie staan. Een spanningsbron bepaalt het venster van de fijnregeling en de tweede verschuift dit venster over bijna de gehele negatieve spanning Vneg. De spanningsbron voor het venster bestaat wederom uit een TL431 schakeling (IC80, R85-86). Deze spanningsbron trekt de basissen van de twee regeltransistoren (TS82-83) uit elkaar waardoor tussen de beide emitters de fijnafregelspanning ontstaat. Door nu de bron te variëren, varieert ook de spanning tussen de emitters en daarmee de spanning over de fijnregelpotmeters R90 en 92. Potmeters R91 en 92 dienen om de balans tussen de bovenste en onderste eindbuis in te stellen.
De spanningsbron voor de grofregeling bestaat gewoon uit een potmeter en een transistor (R82 en TS80). Deze regelt de basisspanning van TS82 en daarmee de spanning op de emitter en potmeters R90-93. De stroombron D80, TS81, R84 en 87 dient om een constante stroom door de TL te laten lopen omdat deze anders afhankelijk is basisspanning op TS82.





Figuur 6: Sporenpatroon onderkant voedingsprint

Figuur 7: Sporenpatroon bovenkant voedingsprint

De voortrap

De voortrap is een zogenaamde SRPP trap. Het voordeel hiervan is dat zo'n trap een lage uitgangsweerstand heeft en een hoge lineariteit en dus een lage vervorming. Het audiosignaal komt rechtstreeks binnen (DC gekoppeld) of via C1 (AC gekoppeld). Hoge stoorfrequenties worden door het HF filter (R1, C2) tegengehouden. Vervolgens gaat het audiosignaal via een HF-stopweerstand naar het rooster van de eerste triode van B1 pen 7. Om een negatieve roosterspanning te krijgen wordt de kathode (pen 8) opgetild met een weerstand die weer voor het audiosignaal is ontkoppeld (R6, C7-8). De tweede triode van B1 vormt de "anodeweerstand" en van daaruit gaat het signaal via een koppelcondensator (C9) naar de fasedraaier. Als buis heb ik een ECC82 gekozen omdat de versterking daarvan niet al te groot is.

De fasedraaier

Bij een pushpull eindtrap wordt de uitgangstrafo door twee in tegenfase staande signalen aangestuurd, een fasedraaier zorgt daarvoor. Ik heb gekozen voor een verschilversterker (long tailed pair) waarbij de kathodes van de twee triodes (B2) aan elkaar zitten (via een kleine potmeter R50). Aan de kathodes zit een gemeenschappelijke stroombron en via R50 zijn de stromen door de beide buishelften precies gelijk te regelen (DC-balans). Het signaal komt binnen op de linkse triode (B2 pen 2) en op de anode (B2 pen 1) staat het signaal versterkt en in tegenfase. De tweede triode wordt via de gekoppelde kathodes aangestuurd (met het tweede rooster via R12-13 aan massa) en op die anode (B2 pen 6) staat het versterkte signaal in fase met de ingang. Doordat de twee anode-weerstanden gelijk zijn, zijn de uitgangssignalen dat ook maar dan in tegenfase. Enige onbalans kan men met potmeter R11 wegregelen (AC-balans). Voor de fasedraaier is een ECC88 gebruikt.

De kathodevolger

De kathodevolger (B3, R14-17) dient als buffer voor de vier eindbuizen. Deze heeft een lage uitgangsweerstand en kan daardoor makkelijker de eindbuizen aansturen met een grote bandbreedte. De kathodevolger wordt DC aangestuurd vanuit de fasedraaier en de kathodeweerstanden hebben dezelfde waarde als de anodeweerstanden van de fasedraaier. De buizen zijn van hetzelfde type, er lopen door al deze buizen dezelfde stromen.

De eindtrap

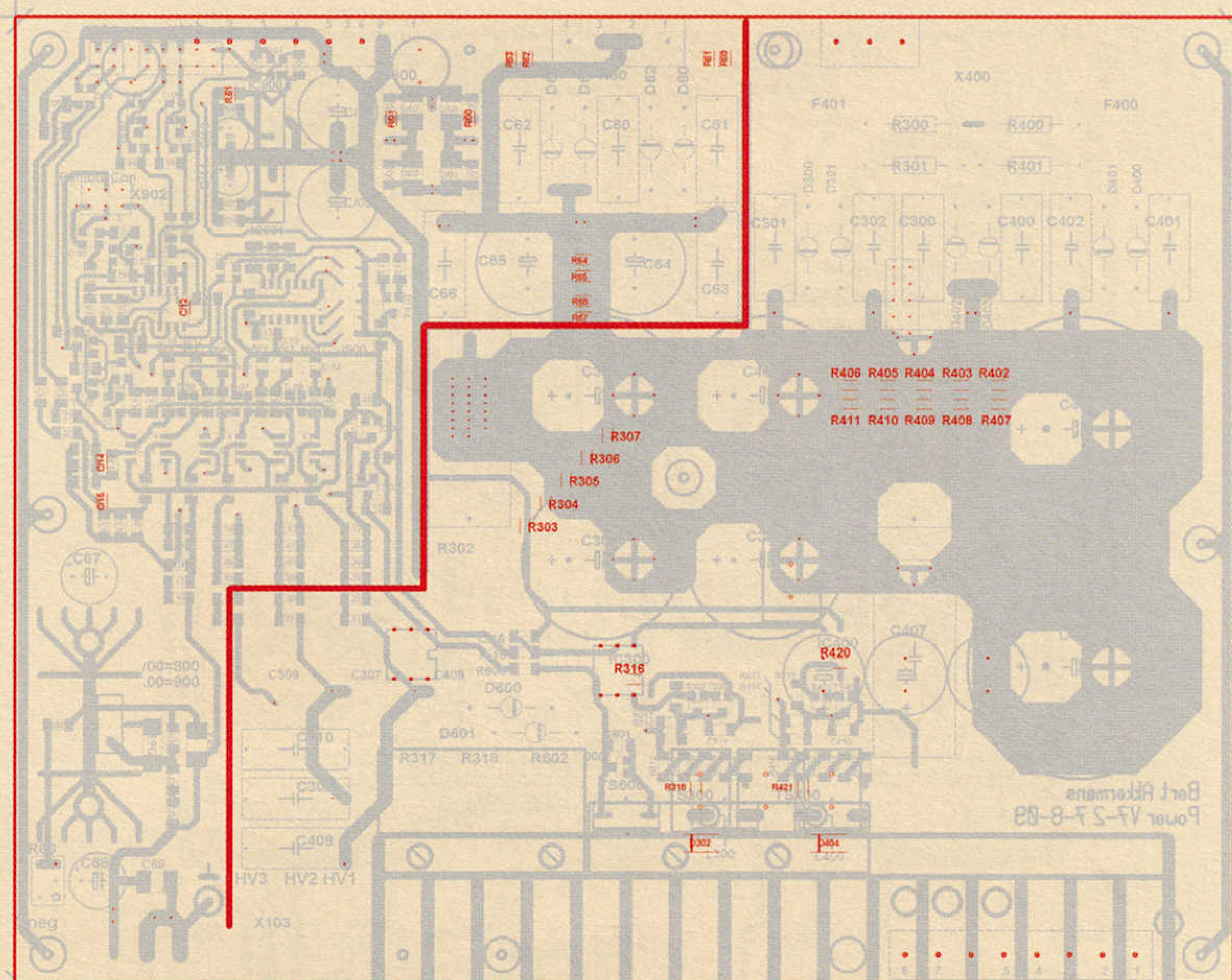
De eindtrap is een pushpull schakeling waarbij twee eindbuizen in tegenfase de uitgangstrafo aansturen. De DC stromen door de trafo wekken twee tegengestelde magnetische velden op die elkaar opheffen, daarom is het van groot belang dat de ruststroom instellingen van de twee buizen precies gelijk zijn, want anders raakt de kern van de uitgangstrafo gemagnetiseerd en dat beïnvloedt op een negatieve manier de weergave (zowel in het basbereik als bij microdetail weergave).
Ik heb gekozen voor een dure oplossing door vier eindbuizen te gebruiken die twee aan twee parallel staan. Hierdoor wordt de uitgangsweerstand de helft en kan je de luidspreker aan een "hogere" secundaire tap aansluiten waardoor je een hoger vermogen krijgt bij een lagere voedingsspanning terwijl de buizen het niet te moeilijk krijgen. Ook de dempingsfactor wordt iets beter. Je kan ook kiezen om maar twee eindbuizen te gebruiken, het ontwerp is heel flexibel.
Het twee in tegenfase staande audiosignalen komen van de kathodevolger en worden DC ontkoppeld door C12-15 en gaan via stopweerstandjes R18-21 naar de stuurroosters (pen 5) van de eindbuizen. Op dit knooppunt komen ook via de weerstanden R22-25 de negatieve spanning van de biasregeling om de eindbuizen in te stellen. Het versterkte signaal van de anode (pen 3) gaat naar de uitgangstrafo en van daaruit naar de luidspreker. Het tweede rooster pen 4 (schermrooster) kan met behulp van een jumper J1 op verschillende manieren aangesloten worden:

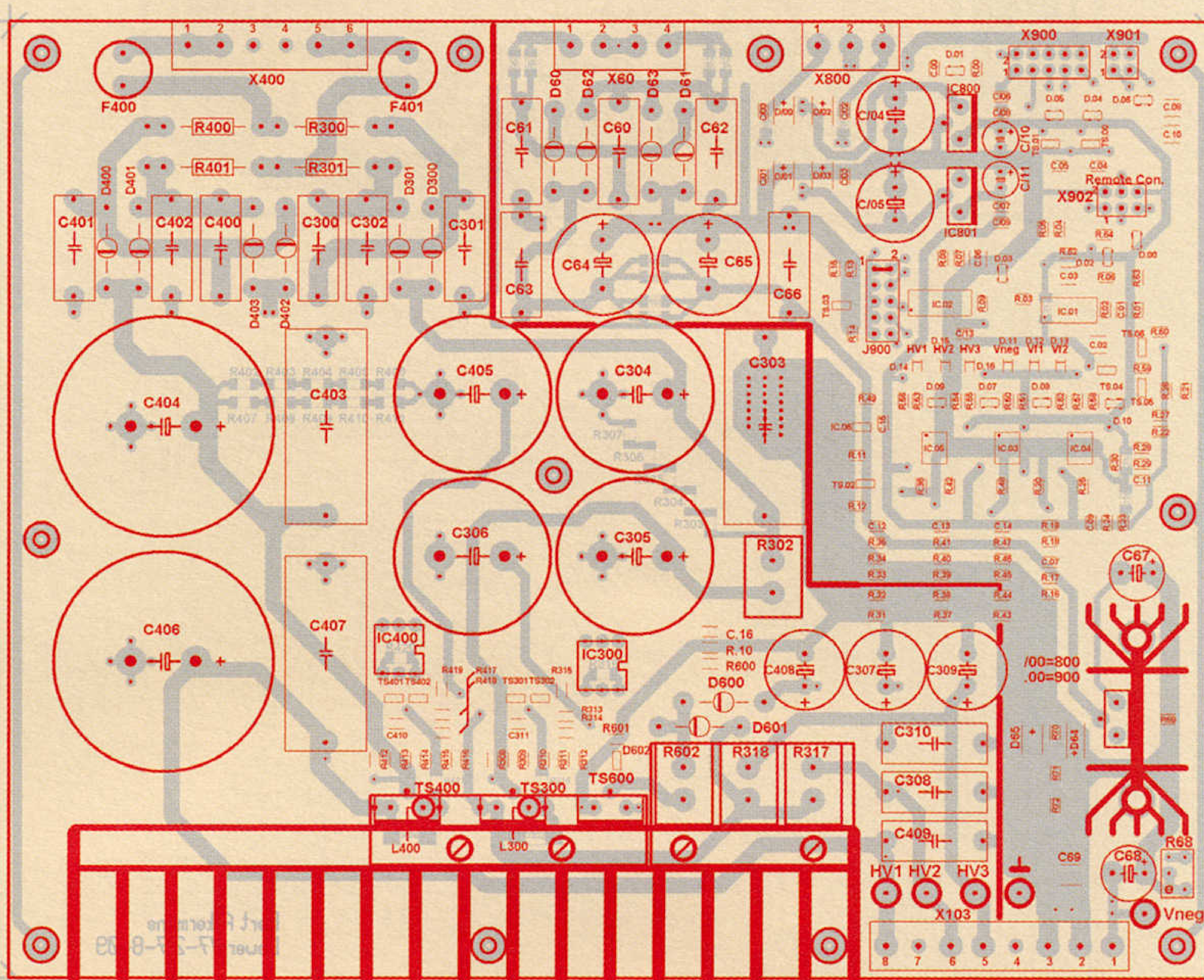
A. Het schermrooster verbonden met de voedingsspanning HV1 > Pentode. Hier geeft de versterker het meeste vermogen maar heeft ook de hoogste uitgangsweerstand en daardoor de laagste dempingsfactor.
B. Het schermrooster verbonden met zijn eigen anode

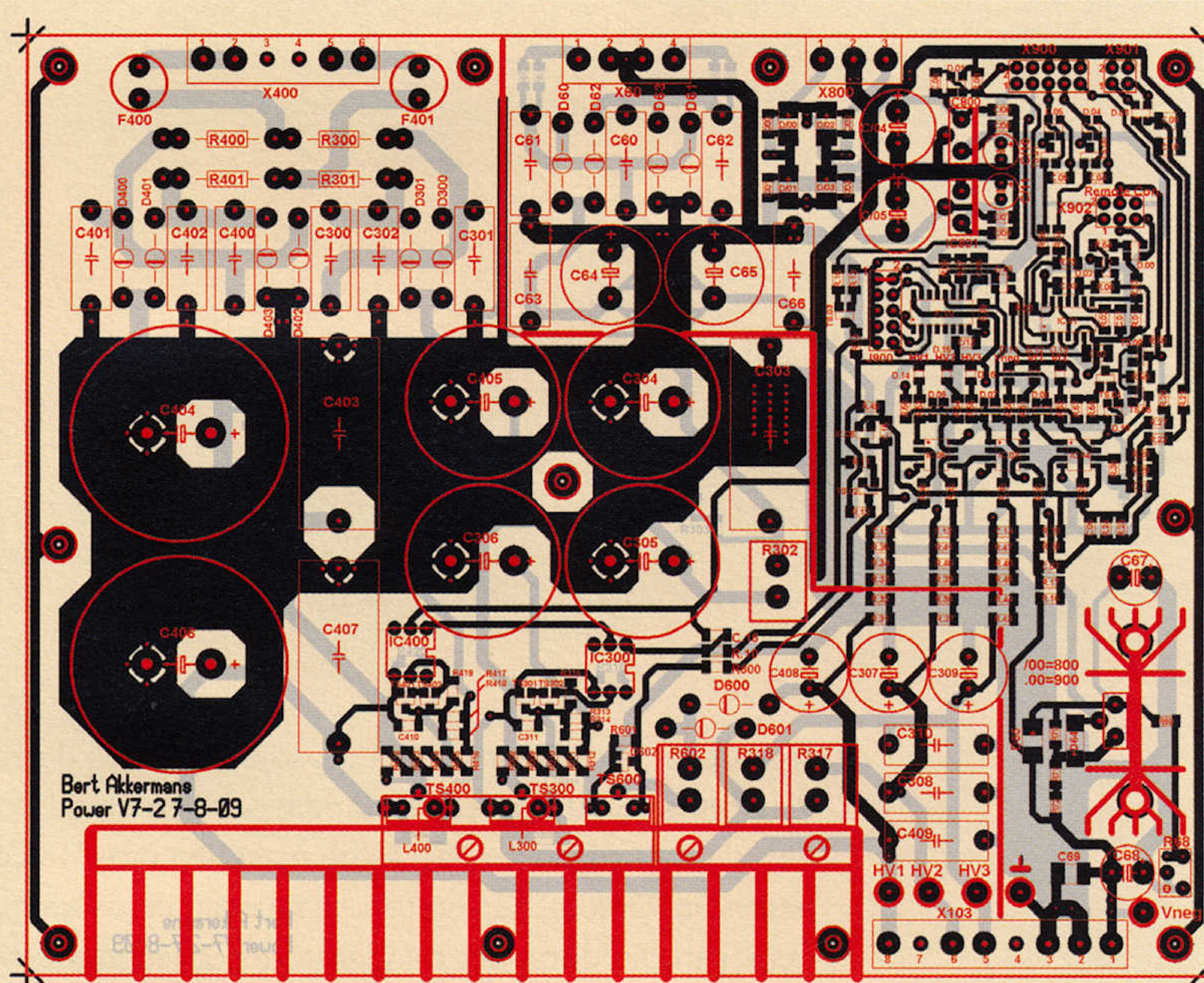
Figuur 8:
Componentenplaatsing onderkant voedingsprint

Figuur 9:
Componentenplaatsing bovenkant voedingsprint

Figuur 10:
Overzicht van de complete voedingsprint







> Triode, hier geeft de versterker het laagste vermogen maar heeft ook de laagste uitgangsweerstand en daardoor de hoogste dempingsfactor.

C. Het schermrooster verbonden met een tussenaftakking van de uitgangstrafo > Ultra lineair. Hier zitten de prestaties tussen die van pentode en triode in.

Triode geeft volgen kenners het zuiverste geluid.
Ook aan de kathode zit weer een jumper J2 met de keuze:

A. De kathode verbonden met massa.
B. De kathode verbonden via de secundaire wikkeling van de uitgangstrafo naar massa > Kathode feedback. In de stand Pentode of U.L. nijgt de versterker dan steeds meer naar triode maar met behoud van redelijk uitgangsvermogen.

Zie (1) voor meer details over deze instelmogelijkheden. In de kathodelijnen zitten nog de weerstanden van 10Ω. Hierover meet men de ruststroom spanning Vko. De ruststroom wordt dan gegeven door: Io = Vko / 10 Ω

De terugkoppeling

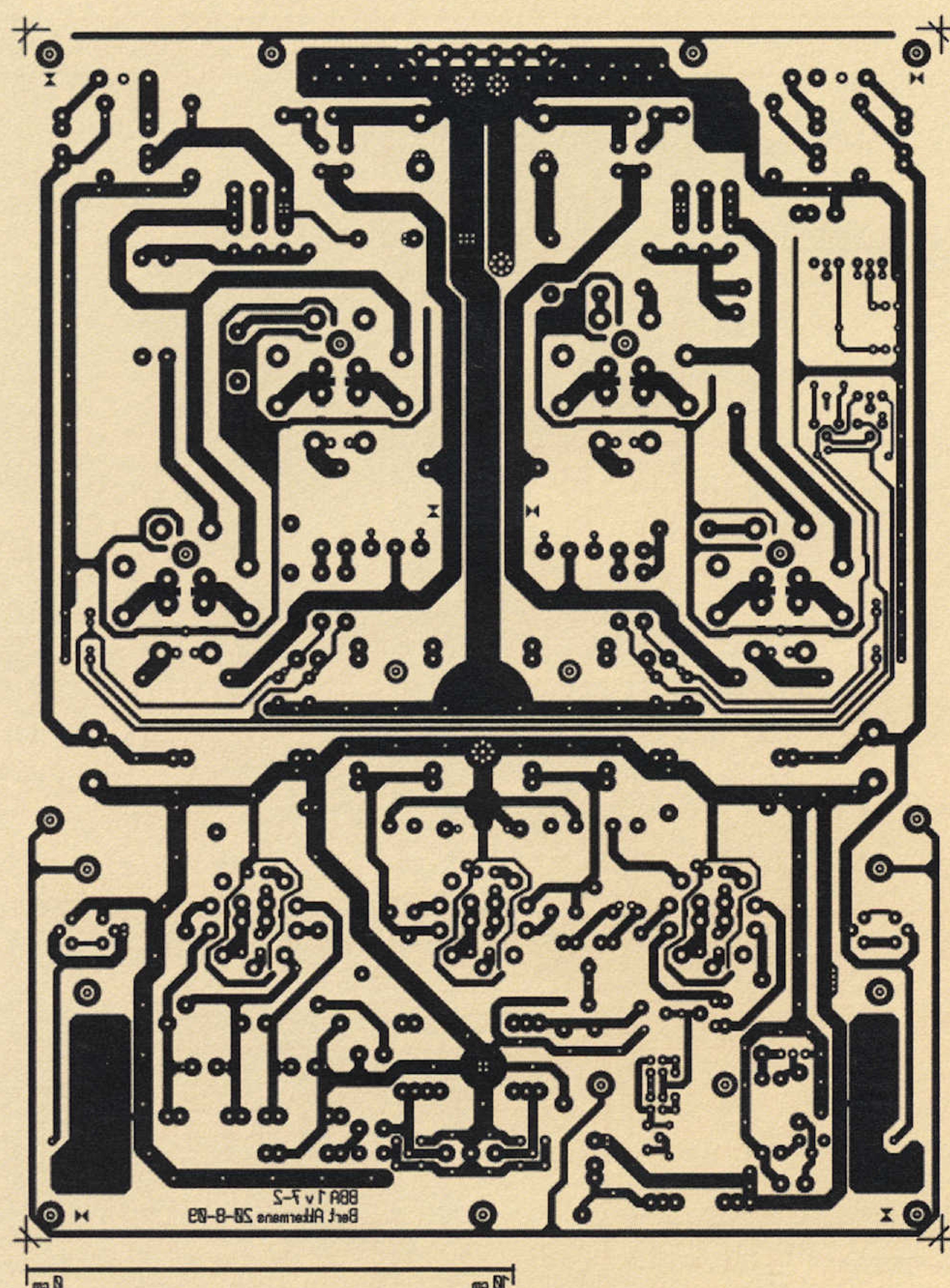
Ook de terugkoppeling kan men met een jumper (J3) in en uit schakelen. De terugkoppeling loopt vanaf de secundaire van de uitgangstrafo naar de (+) ingang van de verschilversterker (fasedraaier). Omdat ik terugkoppel op de fasedraaier moet het signaal in tegenfase van de uitgangstrafo komen. Dit gebeurt doordat de middenaftakking (blauwe draad) van de secundaire winding voor de kathode feedback met massa is verbonden. De onderste helft van de secundaire wikkeling is dan in tegenfase met de ingang. De terugkoppeling bestaat uit een weerstand en een potmeter (R35) voor afregeling. Condensator C20 dient voor HF stabiliteit omdat de versterker zonder terugkoppeling al een erg grote bandbreedte heeft.

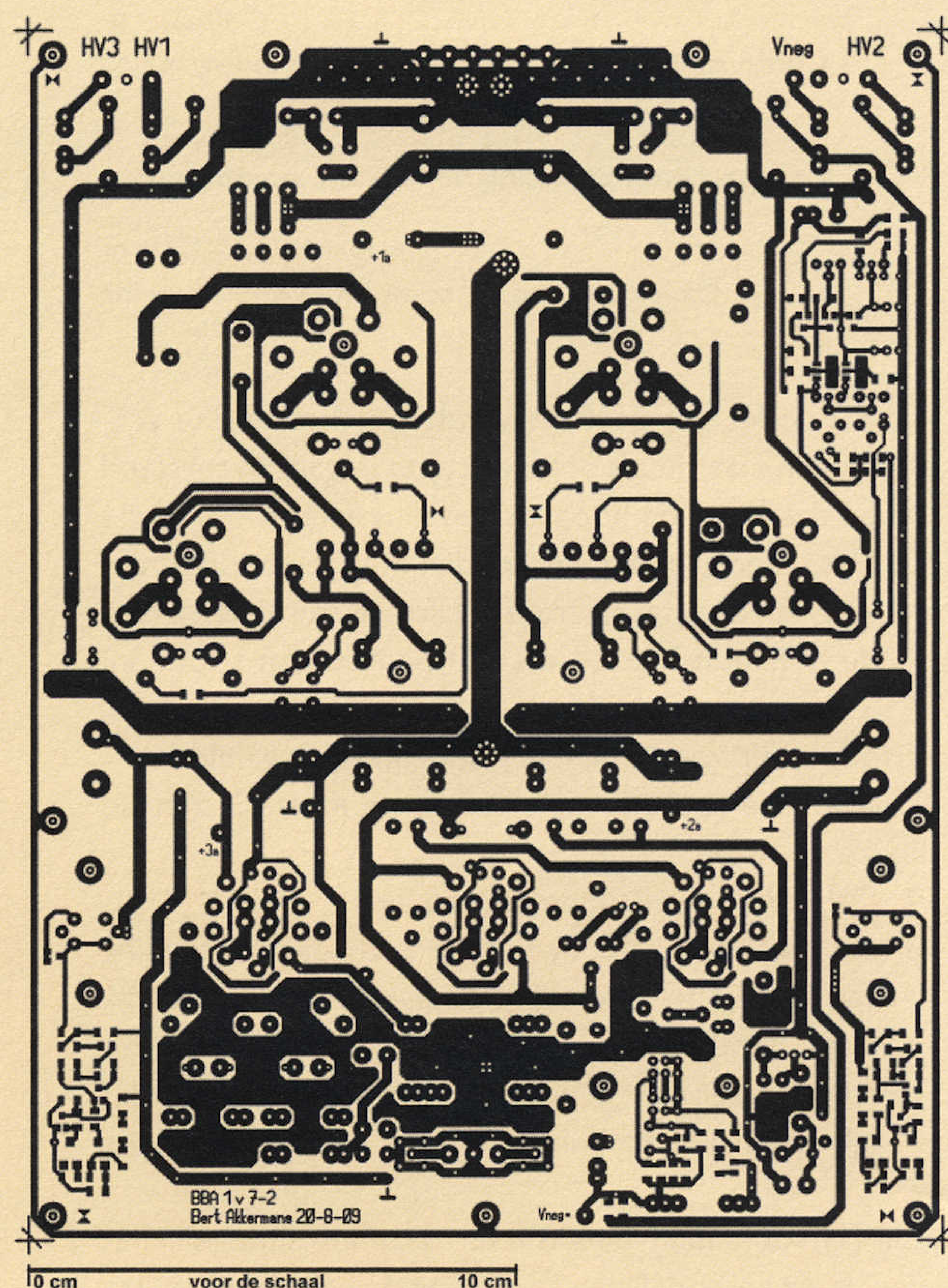
De bouw

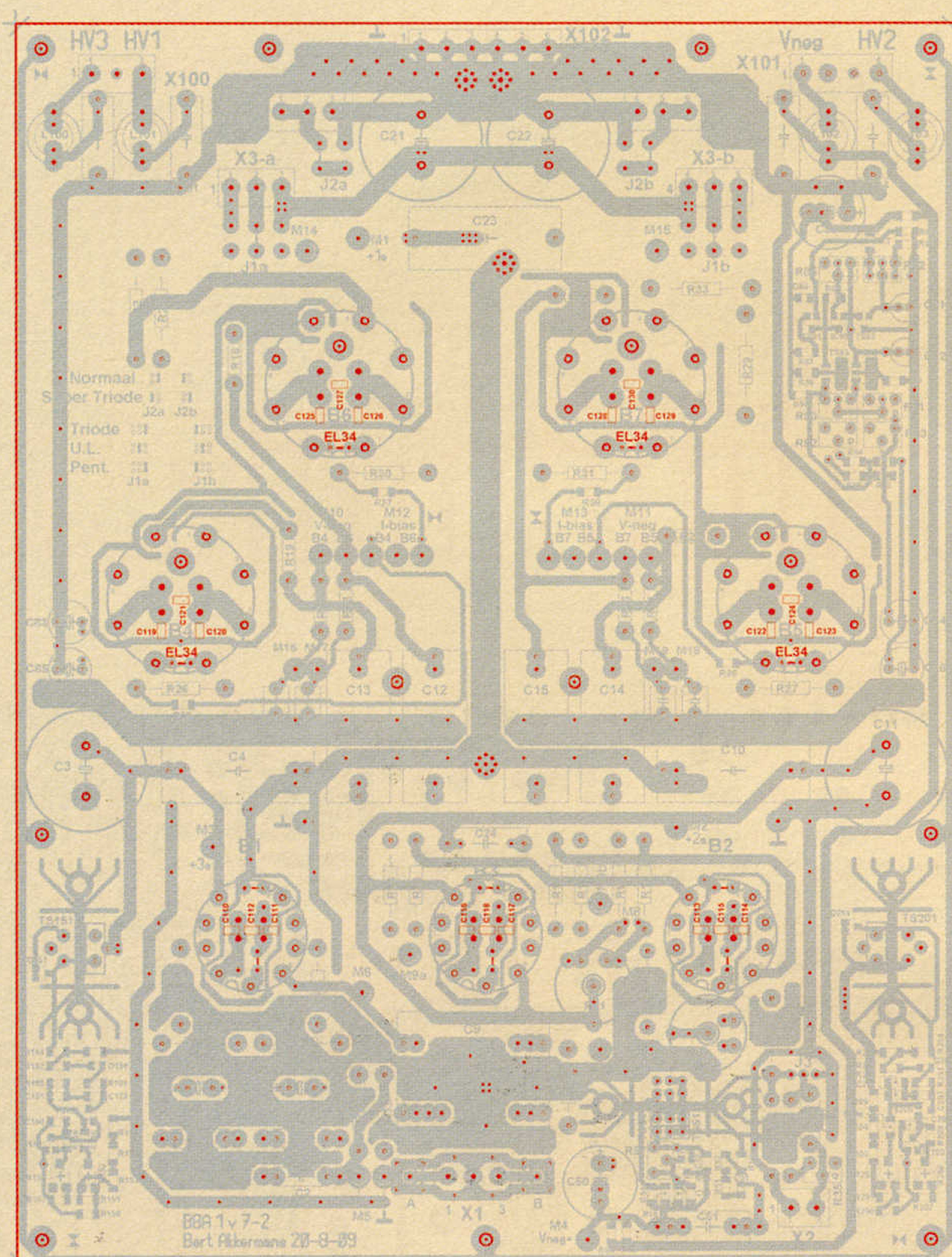
De complete versterker bestaat uit twee dubbelzijdige printen. De figuren 6 tot en met 10 tonen hoe de voedingsprint is opgebouwd.

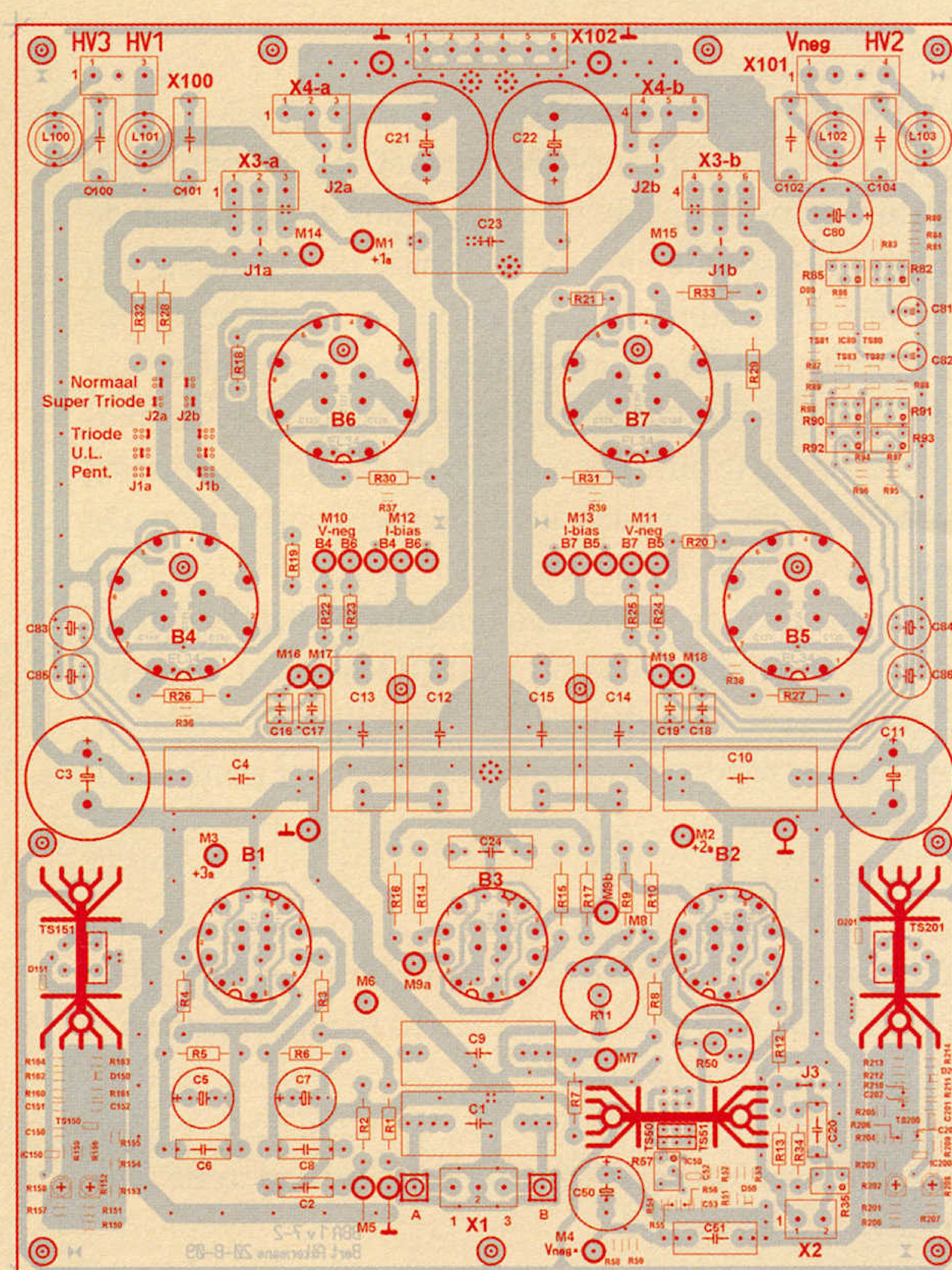
De print van de versterker wordt getoond in de figuren 11 tot en met 15.

In de dubbelzijdige printen moeten een aantal doorverbindingen (via's) gemaakt worden. Alle componenten die zowel sporen aan de boven en onderkant hebben moeten aan beide kanten gesoldeerd worden. Waar de componenten het gat afdichten heb ik eilandjes ernaast geplaatst om met een draadje de verbinding te maken. Het is niet nodig om bij de grote massavlakken en spo-

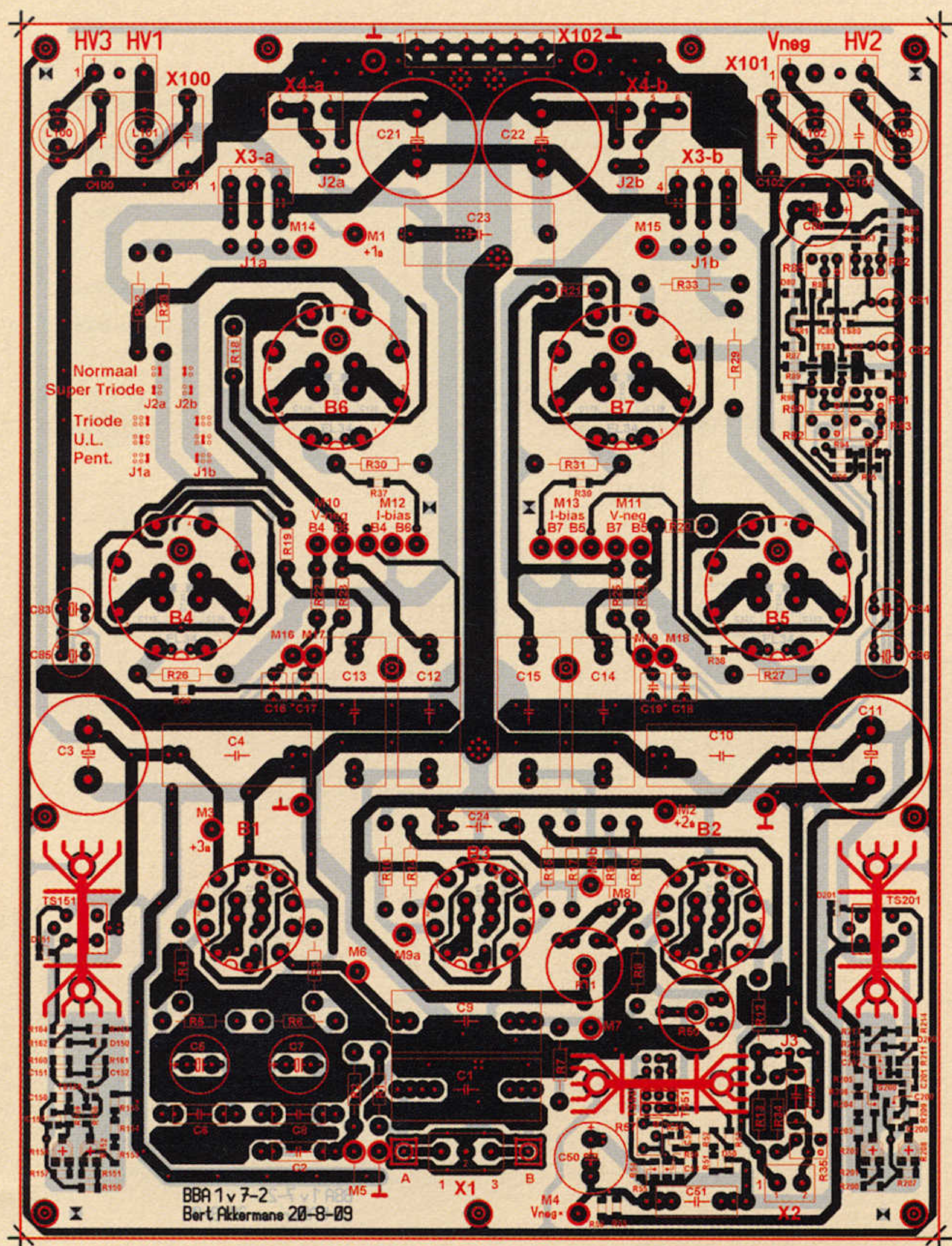








ren elk gat te vullen met een draadje, alleen bij de voeding onder C303 is het verstandig om een draad door een rijtje te rijgen omdat dit de massalijn naar de connector is. Ook bij de versterker moeten de dikke massasporen die door het midden lopen goed van boven naar onder verbonden worden. Na de doorverbindingen is het beste om de SMD's plaatsen. Te vaak wordt hiervoor een veel te spitse soldeerpunt gebruikt die ook nog eens op een te hoge temperatuur staat vanwege een slechter warmteoverdracht. Een beitelstift van 2 a 3mm



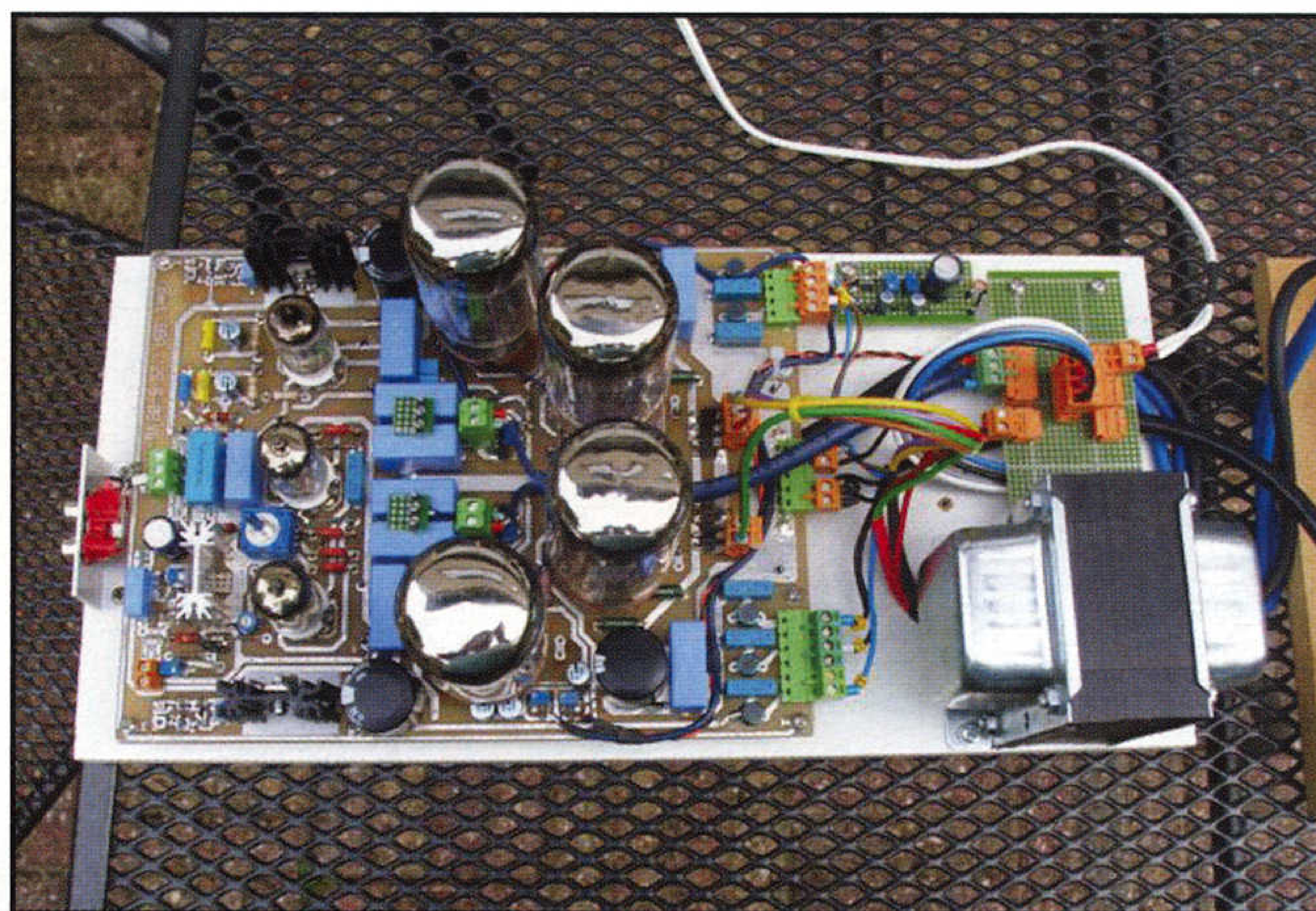
Figuur 11:
Sporenpatroon onderkant versterkerprint

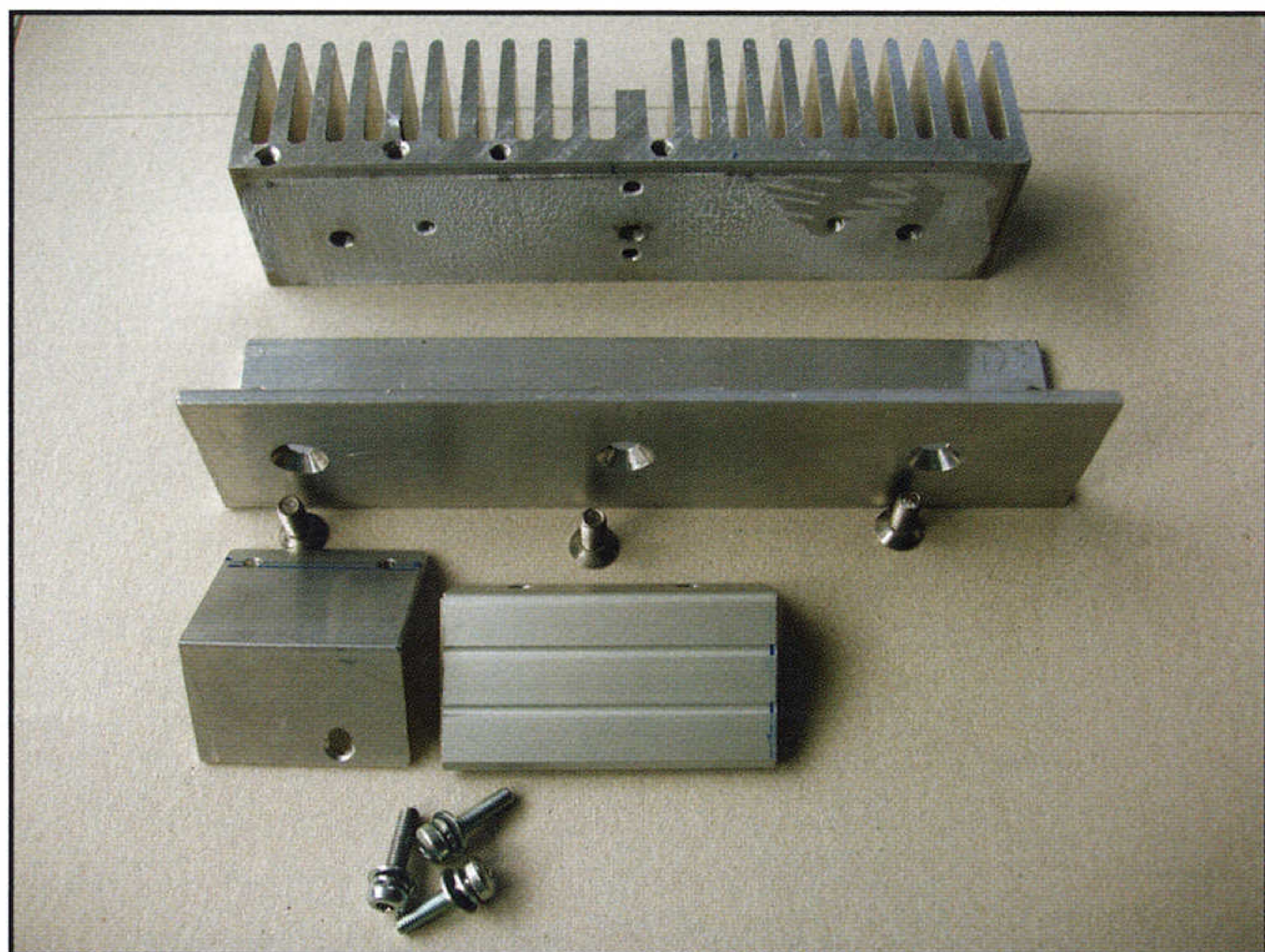
Figuur 12:
Sporenpatroon bovenkant versterkerprint

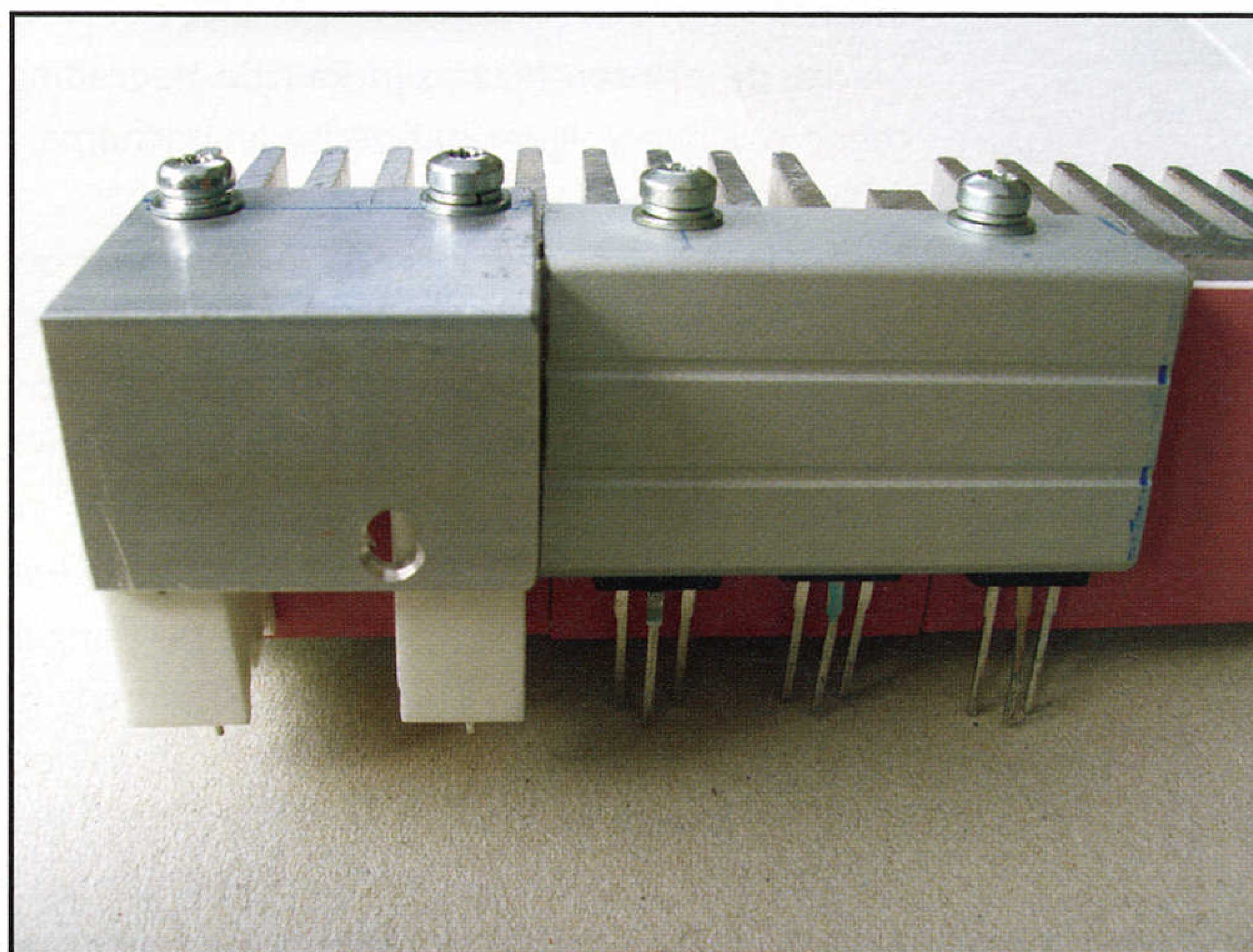
Figuur 13:
Componentenplaatsing onderkant versterkerprint

Figuur 14:
Componentenplaatsing bovenkant versterkerprint

Figuur 15:
Overzicht van de complete versterkerprint.







en een soldeertemperatuur van 330-350gr is een veel betere optie. Daarna zijn de weerstanden, diode's, jumpers, buisvoeten en IC's (let op het solderen van onder en bovenzijde). Pas als alle lage componenten zijn geplaatst zijn de grote condensatoren en connectoren aan de beurt. Vergeet de isolatieplaatjes tussen de koellichamen en transistoren en Fet's niet. De koelplaat van de voeding is er één uit de afvalbak, daar zul je zelf iets voor moeten verzinnen, de twee foto's 4 en 5 geven een indruk hoe ik de koelplaat heb opgebouwd.

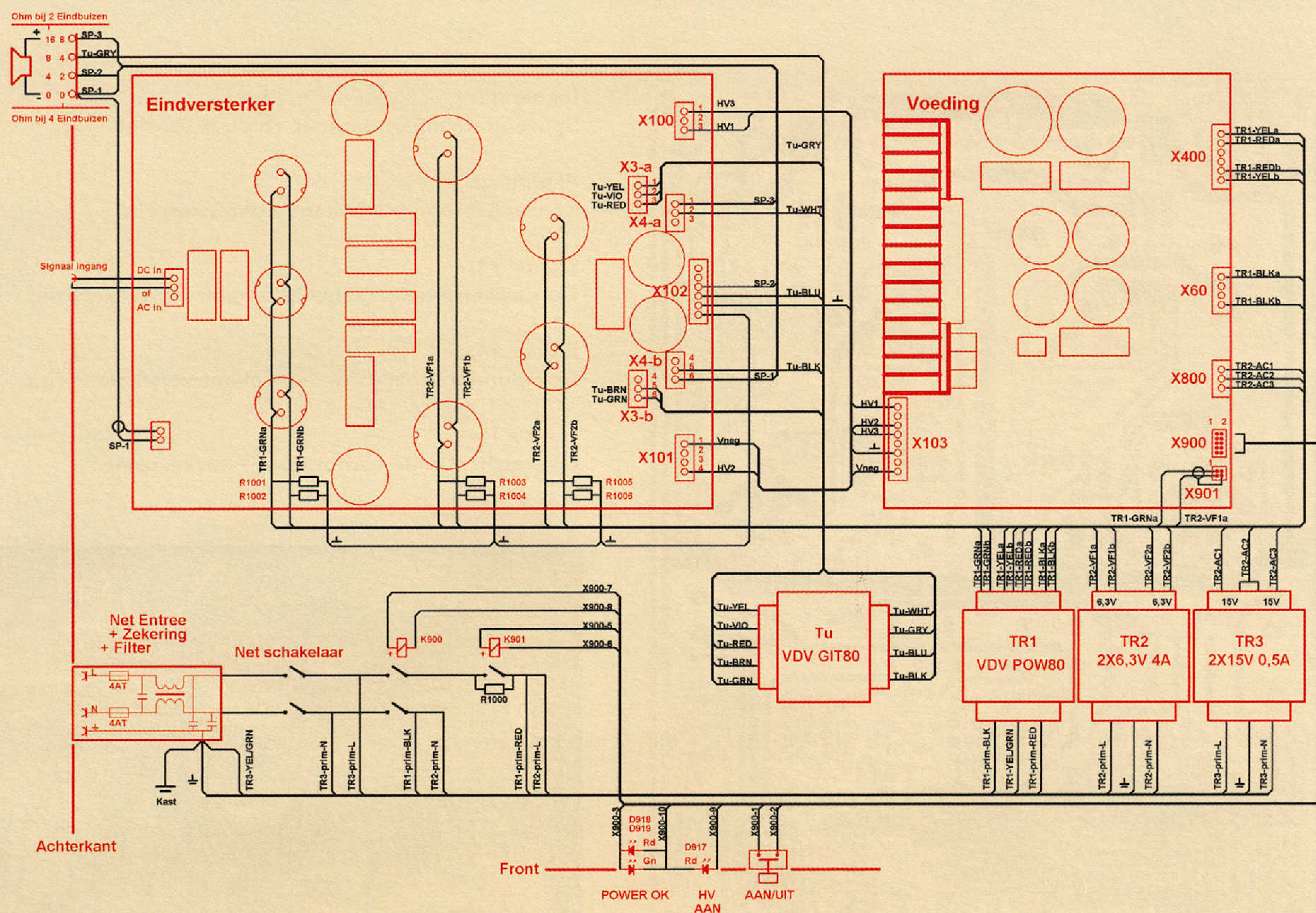
Er zijn nog wat opmerkingen nodig over de versterkerprint. Alle hoge componenten kunnen zowel op de boven als onderzijde geplaatst worden, zodat de print vlak onder de bovenplaat gemonteerd kan worden met de buizen er bovenuit. Daarom zijn bij de vermogenstransistoren en de Fet's met koelplaatje extra eilandjes geplaatst zodat deze zowel aan de bovenkant als aan de onderkant gemonteerd kunnen worden. Alleen de SMD's, buisvoeten en potmeters R35, 57, 82, 85,90, 91, 92 en 93 blijven aan de bovenzijde zitten. Ook heb ik de weerstanden van de versterker op soldeerpaaltjes geplaatst zodat ik tijdens het experimenteren niet elke keer de weerstanden uit de print hoeft te solderen. Ook voor de warmte afgifte is het verstandig om die verhoogd te monteren.

De buizen die ik gebruikt heb zijn proefondervindelijk gekozen. Op de print kan je dan ook verschillende ECC en andere type plaatsen zolang de gloeidraad maar op pen 4, 5 of 9 zit; dit is ook met een jumper in te stellen. In figuur 13 staan de jumpers voor een ECC82, ECC88, ECC88 instelling. Als voor een eindbuis een EL34 gekozen wordt moet jumper EL34 gemonteerd

Foto 3: Gemonteerde versterkerprint

Foto 4: Voorbewerkte koelplaat uit de afvalbak

Foto 5: Gemonteerde componenten op de koelplaat



Figuur 16: Bedradings-schema van de versterker

worden. Deze verbindt het laatste rooster met de kathode (bij de meeste buizen zit die verbinding al intern).

Nadat de printen klaar zijn kan de bedrading gemonteerd worden volgens het bedradingsschema, zie figuur 16.

De bedrading kan gesoldeerd worden maar ook met de Weidmuller terminals worden gemonteerd. Omdat de POW80 voedingstrafo maar 4A aan gloeistroom kan leveren had ik een tweede trafo nodig. Deze kwam uit de rommeldoos: een oude Philips trafo die zes wikkelingen heeft van 6V en 1,5A. Ik heb 2X drie wikkelingen parallel gezet voor 6V, 4,5A en elke tak aangesloten op een serie eindbuizen. Doordat de spanning niet maximaal belast was bleef er 6,25V over wat voldoende was. De gloeistroom wikkeling van de POW80 heb ik voor de stuurbuisjes gebruikt. Voor de gloeistroombedrading heb ik symmetrische afgeschermde microfoonkabel gebruikt met de afscherming aan massa, maar getwiste draden zijn ook goed. De weerstanden R1001-1006 zijn op een stukje experimenteerprint geplaatst en van daaruit lopen ook de beide Vf1 en Vf2 terugkoppelingen naar de voeding (niet vergeten anders start de voeding niet op!).

Ik heb zelf de versterker en voeding nog op twee MDF platen staan, zie foto-6, want ik zit nog volop in de experimentele fase.

Het netspanningsgedeelte met de relais, R1000 en trafo voor de besturing zit ook op een stukje experimenteerprint en samen in een kunststof kastje samen met de netschakelaar, drukschakelaar en led's D917-919. Zie voor details foto-7.

Correct aansluiten van de POW80

Let op! De hoogspanningswikkelingen van de POW80 moeten eerst op de juiste fase worden gecontroleerd voordat deze parallel op de voedingsprint gemonteerd worden. Verbind hiervoor een rode en een gele draad van de secondaire kant met een kroonsteentje met elkaar en sluit de primaire kant op een variac en zet deze op een lage spanning (een voedingstrafo van 12V werkt ook). Meet de AC-spanning tussen de overgebleven rode en gele draad. Meet je daar een spanning van

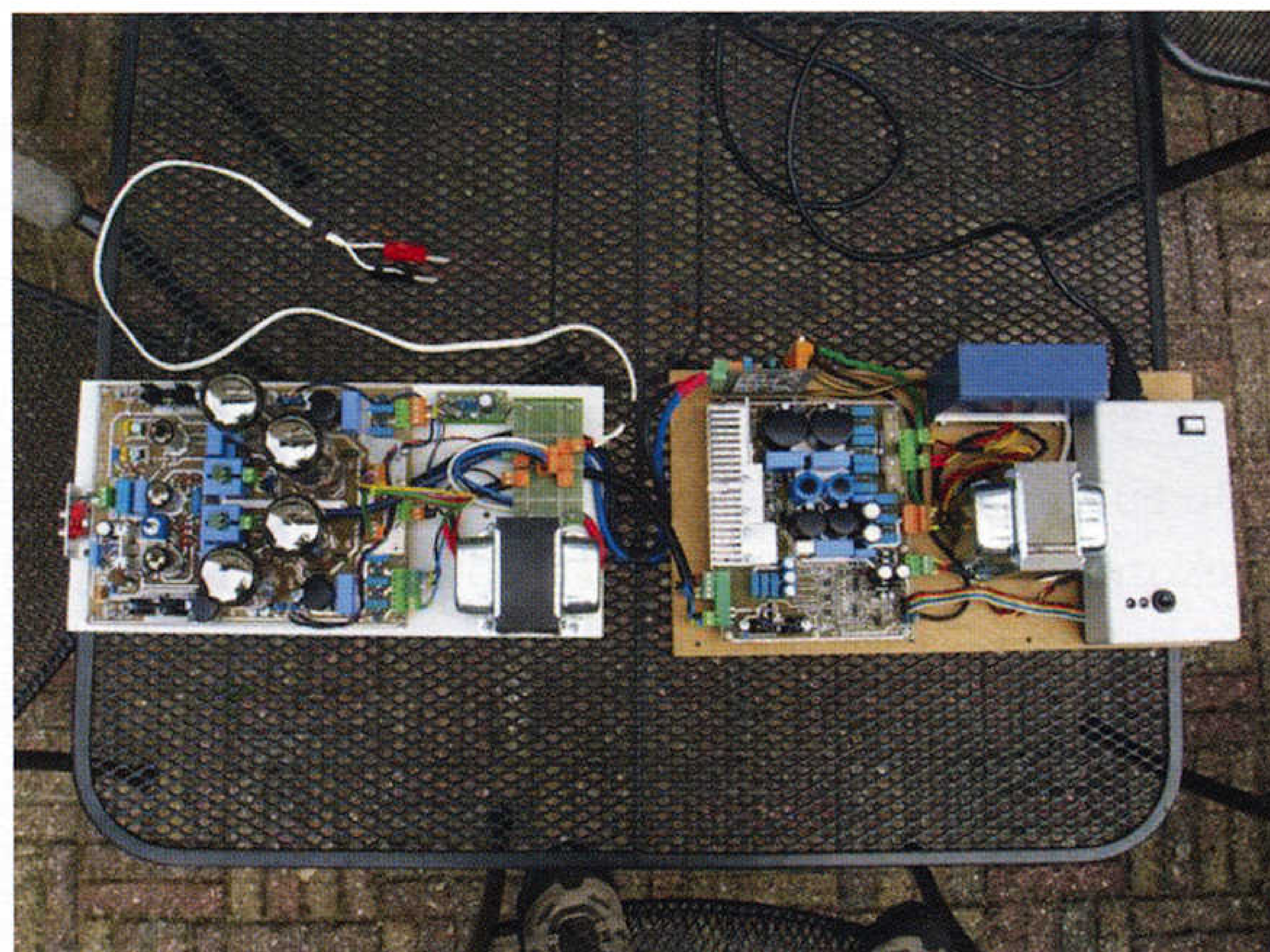


Foto 6: Complete versterker gemonteerd op MDF platen

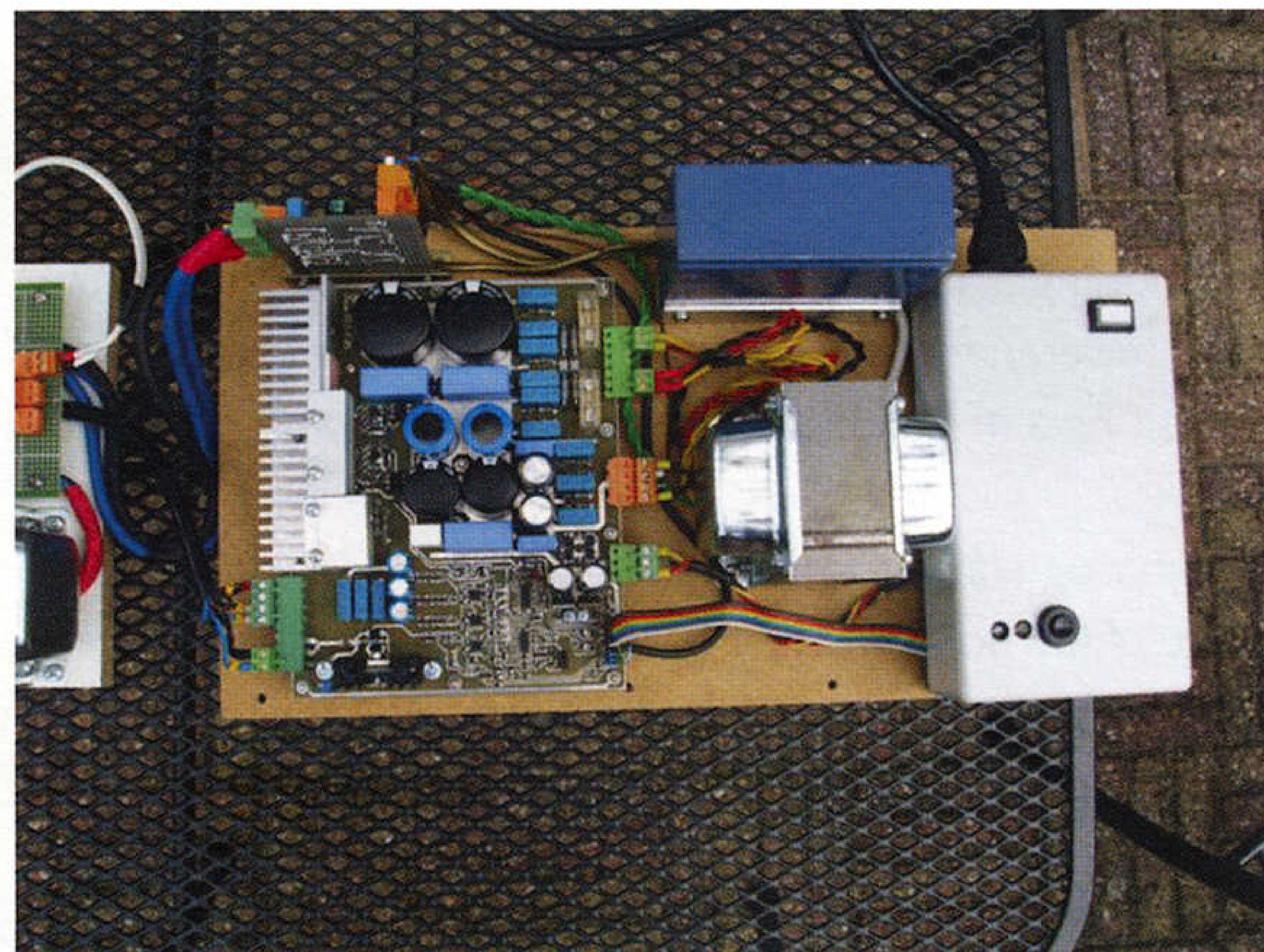


Foto 7: Het netspanningsgedeelte van de voeding is in een apart kastje rechts ondergebracht.

enkele volts dan staan de "rode" en "gele" hoogspanningswikkelingen in tegenfase. Verwissel vervolgens de twee rode draden, dus voer de andere rode draad naar het kroonsteentje. Wanneer nu de spanning tussen de vrije rode en gele draad 0V is, dan staan nu de rode en gele wikkeling in fase. Markeer nu de rode en gele draden die in het kroonsteentje zitten. Deze draden horen bij dus elkaar.

Afregelen van de Voeding

Voordat de versterker in bedrijf gaat moet het nodige gecontroleerd en afgeregeld worden. Foto 8 geeft een indruk van de meetopstelling.

Nadat alles gebouwd is, moet eerst de voeding gecontroleerd worden en de Vneg afgeregeld worden. Verwijder alle buizen en J900 op de voeding.
Zet de potmeters R11, 50 , 90, 91, 92 en 93 in de middenstand. Plaats J1 op Ultra Lineair en J2 op Normaal.
- Zet de netschakelaar aan -> led D918/919 is rood. Meet V+ en V- op X902 pin 6= +12V pin 4= -12V.
- Druk op de drukknop -> led's Vnef, Vf1 en Vf2 (D911-913) gaan aan. Op de versterker zij led's D50 en 80 aan. Meet op D400 kathode HV > 350V. Meet op meetpunt (=mp) Vneg en regel met R68 de negatieve spanning op -60V. Meet alle gloeispanningen op de buisvoeten. Meet op de via's tussen R90 en TS82 het biasvenster en regel deze af met R80 op 10V. Zet de Bias grof potmeter R82 minimaal en meet de spanning op de buisvoeten B4-7 op pin 5 V-bias < 50V. Plaats een ampèremeter tussen B2 pin3 en massa en regel met R57 de stroom af op 10mA.
- Zet de voeding uit met de drukknop en plaats jumper J900 op 1-2 (net onder C805). Plaats een voltmeter op mp HV1.
- Zet de voeding aan met de drukknop en na +/- 1 minuut gaat led D917 aan -> HV1 stijgt naar +/- 340V en de led's D916, 915 en 914 gaan één voor één aan. Daarna wordt led D918/919 "Power OK" groen. Controleer op de versterker HV1 (mp M1) en B4-7 pin 3 en 4. Meet en regel de spanning HV2 (mp M2) op 250V met R208 (grof) en R202 (fijn). Meet en regel de spanning HV3 (mp M3) op 200V met R158 (grof) en R152 (fijn).
- Zet de voeding uit met de drukknop. HV1 en HV2 en HV3 moeten na 10s ontladen zijn.

Afregelen van de eindbuizen

Plaats de buizen en sluit een belasting (dummyload) aan op de 8 of 4Ω uitgang. Sluit een sinusgenerator aan op de ingang. Stel het generatorsignaal eerst nog in op nul volt.
- Zet de voeding aan met de drukknop en wacht twee minuten.
Het inregelen van de eindbuizen. Meet de spanning over de stroommeetweerstanden R26, 27, 30 en 31 (mp M13 en M13, de middelste is steeds de gemeenschappelijke). Het makkelijkst is om twee meters te gebruiken. Begin met M12 B4 en regel met R82 de spanning af op 450mV (=45mA). Meet op M13 B5 en regel met R93 de spanning gelijk aan M12 B4. Meet op M12 B6 en regel met R90 de spanning gelijk aan M12 B4. Meet op M13 B7 en regel met R91 de spanning gelijk aan M12 B6. Controleer M12 B4 en corrigeer eventueel met R92. Deze afregelingen moeten enkele keren uitgevoerd worden totdat de variatie minimaal is, dit kan best een paar uur duren.

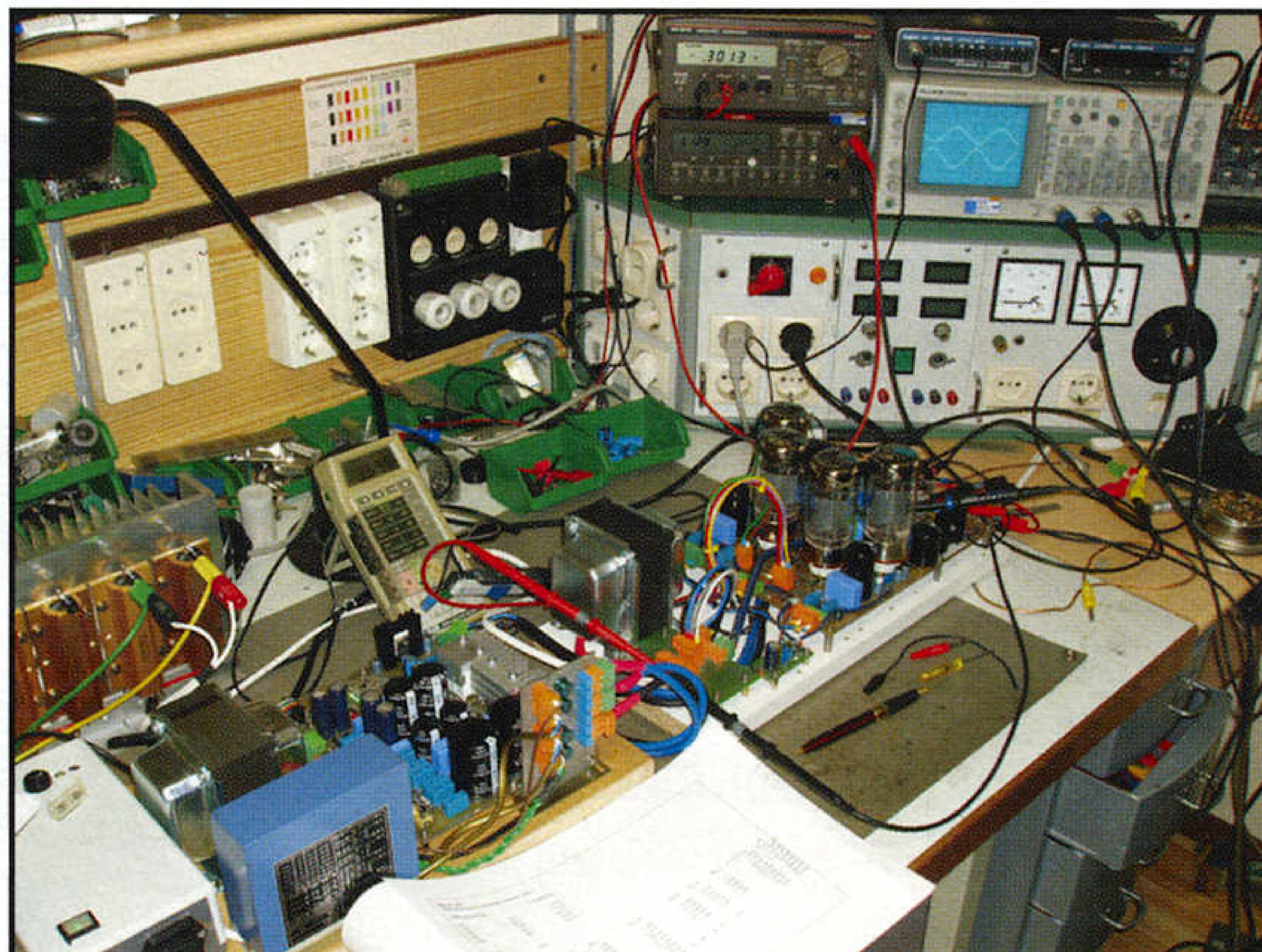


Foto 8:
Inregelen en opstarten van de versterker

Afregelen van stuurtrappen

Ook de fasedraaier met zijn stroombron en de voorversterkerbuis hebben enige afregeling nodig. Voer daartoe de volgende metingen uit.
- Gelijkloop van de stromen door B2 (= DC balans). Sluit de meetpunten M8 (= R11) met elkaar kort. Meet tussen M9a en M9b en regel de DC-spanning af op 0V. Verwijder nu weer de kortsluiting.
- Optimaliseren van de stroombron. Meet de DC spanning op M9a en M9b ten opzichte van massa en regel met R57 de DC spanning af op ½ HV2 (=125V bij HV2 van 250V). Het signaal loopt nu bij maximale uitsturing symmetrisch vast tegen de voedingsspanning.
- Gelijkloop van het audio signaal (= AC balans). Stel de sinusgenerator in op 1KHz 0.5Vtt. Meet met een oscilloscoop op M9a en M9b en regel de in tegenfase staande signalen met R11 aan elkaar gelijk. De signalen moeten aldaar zuiver sinusvormig blijven zonder zichtbare vervorming.
Als alles ingesteld is kan je de jumpers zetten naar eigen voorkeur. De versterker is nu klaar voor gebruik en of verdere experimenten.

Meten en luisteren

Ik heb enkele metingen uitgevoerd aan mijn versterker. Een ruststroom van 45mA is het maximale wat je uit de POW80 voedingstrafo kan halen als je vier eindbuizen gebruikt. Bij twee eindbuizen kan de ruststroom rustig per buis op 80 mA ingesteld worden. Bij 45 mA per eindbuis hebben ze het helemaal niet zwaar want hun anode dissipatie bedraagt slechts 45mA X 340V = 15,3W, terwijl de SED 6550 buizen maximaal 35W kunnen verdragen. De stroom uit de hoogspanningswikkeling is dan: 20mA (voeding zelf) + 50mA (voortrappen) + 4X 45mA = 250mA (DC). Zetten we dit om naar AC dan wordt de stroom √2 X 250ma = 354mA, De POW80 mag 2X 180mA = 360mA leveren, dus dit gaat goed aangezien de 6,3V maar 1A hoeft te leveren. Bij

twee eindbuizen kan de extra gloeistroomtrafo vervallen en kan dus de ruststroom worden opgeschroefd tot 80mA. Het uitgangsvermogen bedraagt dan 30 W. Een andere optie is om een Amplimo type 8n608 voedingstrafo te gebruiken (340V-800mA, 50V-100mA, 6,3V-12A). De voedingsspanning gaat dan omhoog naar 450-470V wat met de gekozen elco's net goed gaat (C307, 309 en 408 komen te vervallen). Pas dan wel R302, 317, 318, 932 en 933 aan. De rustroom per eindbuis mag dan op maximaal 70mA ingesteld worden (70mA X 450V = 31,5W); 60 mA is echter verstandiger om de levensduur van de buizen nog enigszins in toom te houden. Het uitgangsvermogen stijgt dan naar ongeveer 50W.

Het -3dB frequentiebereik bij 1W uitgangsvermogen loopt van 7 Hz tot 70 kHz en dat is erg ruim. Bij maximaal uitgangsvermogen gaat bij genoemde 7 Hz de kern van de uitgangstrafo in verzadiging, terwijl bij Pmax vlak boven 18 Hz die verzadiging net verdwijnt. Het -3dB frequentiebereik in het hoog valt bij Pmax ietsje terug naar 62 kHz. Brom en ruis aan de uitgang liggen onder 1,5 mVeff als de ingang wordt kortgesloten; de versterker is dus doodstil. De ingangsgevoeligheid van de versterker ligt voor Pmax op 350 mVeff, dus nagenoeg alle signaalbronnen kunnen er rechtstreeks zonder extra voorversterking op worden aangesloten.

Wat het luisteren betreft: ik werk op dit moment nog mono. Opvallend is dat zelfs daar al goed te horen is dat stemmen (het middengebied) veel losser en detailrijker klinken dan met transistorversterkers. Deze versterker reageert als alle buizenversterkers. Het geluidsbeeld en klankbeeld zijn natuurlijk en aangenaam, terwijl het laag (met enige tegenkoppeling) zijn volle dynamiek en controle blijft behouden.

Wat is er nu uniek aan deze versterker? Dat zijn het ontlaadcircuit, de instelmogelijkheden voor verschillende configuraties, de print lay-out met de gescheiden aardsporen van voortrap en eindtrap, de mogelijkheid om de componenten aan beide zijde te monteren en tot slot de bijzondere bias instelling.

Bronnen:

1) *Menno van der Veen: "Moderne High-End Buizenversterkers 2"; Elektor, ISBN 90-5381-204-0*
2) *www.mennovanderveen.nl; sectie "Tubesociety"*
3) *Menno van der Veen: "Kan een buizenversterker microdetails weergeven?"; Elektor Audio Special 3, 2008*
4) *vragen en opmerkingen: akkermansb@home.nl*

Storingen oplossen in Buizenversterkers

DOOR GUIDO TENT

Het is niet de bedoeling dat een buizenversterker stoorsignalen zoals brom afgeeft. Waardoor worden zulke storingen veroorzaakt en hoe kunnen ze worden opgeheven? Guido Tent beschrijft in dit artikel een unieke werkwijze hoe de oorzaken systematische gelokaliseerd en opgeheven en voorkomen kunnen worden.

Het bouwen van een buizenversterker is meer dan alleen maar de juiste componenten met elkaar te verbinden. Dit is wat het schema u vertelt. Wat er meestal niet bij staat is hoe de onderdelen te plaatsen, laat staan te bedraden, zodat een stille versterker het resultaat wordt. Dit artikel heeft als doel de lezer de weg te wijzen in het oplossen van bromproblemen in buizenversterkers. De theorie wordt besproken, veel voorkomende oorzaken worden behandeld en een analyse methode wordt aangereikt om snel tot de oorzaak van de brom door te dringen. Ten slotte wordt een bedradingconcept aangereikt dat in de meeste gevallen direct een stille versterker oplevert.

Definities

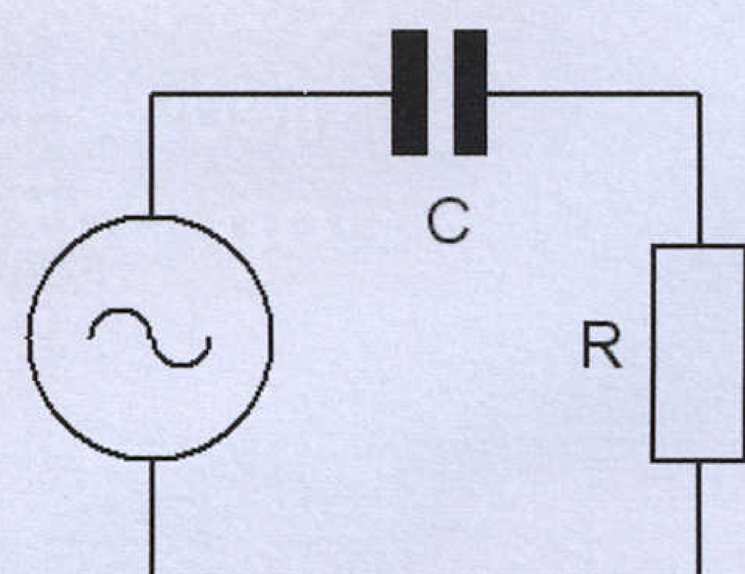
In de loop van het artikel praat ik over aarde. Hiermee bedoel ik niet de veiligheidsaarde van het lichtnet, maar de systeemreferentie van de elektronica, meestal de afscherming van de ingang of de nul van de voeding. Bruno Putzeys heeft een informatief artikel over veiligheidsaarde en referentieaarde geschreven, zie 1) voor meer informatie.

De oorzaken

Brom kan veroorzaakt worden door onbedoelde parasitaire koppeling van een schakeling en koppelmechanismen binnen de schakeling zelf, bijvoorbeeld bij de voeding. Om de parasitaire mechanismen te doorgronden, wordt eerst de theorie van mogelijke koppelingen behandeld. Er zijn drie soorten: capacitieve koppeling, inductieve koppeling en overspraak via gemeenschappelijke impedanties.

Capacitieve Koppeling

Bij capacitieve koppeling speelt een parasitaire condensator C de hoofdrol. De twee condensatorplaten van die parasitaire C worden meestal gevormd door onderdelen van de schakeling, zoals bedrading of andere geleidende constructies. Het diëlectricum is meestal lucht maar kan ook het isolerende printmateriaal zijn. De praktijk laat waarden zien tot hooguit enkele tientallen pF. De bron is meestal parasitair, maar wel deel van de schakeling. Merk op dat het voor dit type overspraak van belang is dat de bron en het slachtoffer dezelfde referentie voeren, dit in tegenspraak tot inductieve koppeling (zie aldaar).



Figuur 1: Capacitieve overspraak

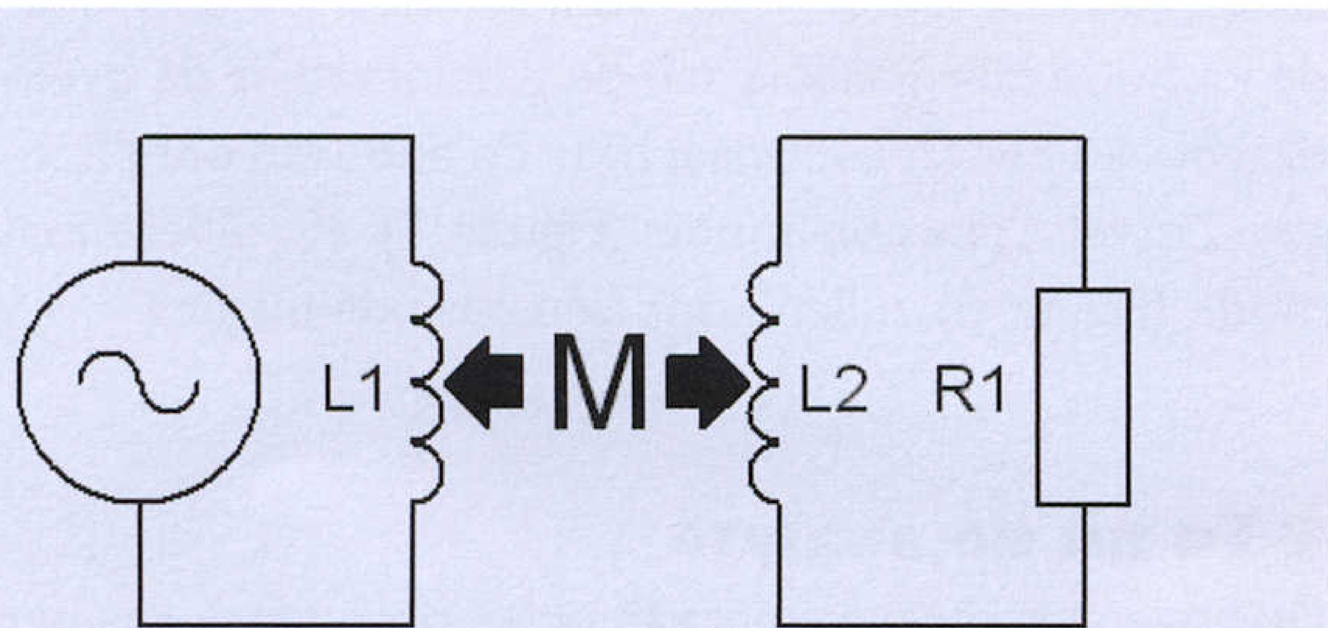
Het is duidelijk dat deze vorm van storing een hoogdoorlaat karakter heeft. Het zal meer klinken als ratel, en niet als diepe brom, maar zal meestal wel 50 Hz als basisfrequentie hebben. Omdat in de praktijk de capaciteit van de parasitaire C gering is, zijn er enkele voorwaarden vooraleer deze koppeling zich kan openbaren. Er is een grote bronspanning nodig (storing). De afsluitimpedantie R moet hoogohmig zijn (over lage impedanties wordt nauwelijks spanning opgebouwd). Er moet tevens veel versterking vanaf de koppeling naar de uitgang plaatsvinden. Bekende stoorbronnen zijn de hoogspanningsbedrading van de voedingstrafo en van de anodes van gelijkrichterbuizen. Ook de anodes en bedrading van uitgangsbuizen kunnen fikse stoorvelden opleveren. Klassieke buizenschakelingen werken met hoge impedanties en zijn dus per definitie gevoelig voor dit type overspraak.
Indien overspraak reeds voorin de schakeling plaatsvindt, zal de versterking die daarna volgt het probleem verder versterken. Met name in platenspeler voorversterkers zal men vaak verrast worden door de 50dB versterking vanaf het eerste rooster (vaak 47k-ohm) naar de uitgang. Het minste beetje overspraak aan de ingang veroorzaakt dan een enorme brom aan de uitgang.

In het geval van capacitieve overspraak is het meestal handig te denken en te meten in het spanningdomein!

Inductieve koppeling

Bij inductieve koppeling is er altijd sprake zijn van twee stroomvoerende lussen die elkaar "zien". Het veld in lus 1 wordt gegenereerd door de bron, meestal een voedingstrafo of smoorspoel. Afhankelijk van de koppelfactor M tussen de twee lussen wordt een veld in lus 2 opgewekt. De waarde van M wordt beïnvloed door de geometrie tussen de beide lussen. De onderlinge afstand en oriëntatie spelen dan een hoofdrol. De hoeveelheid magnetisch lekveld is de volgende oorzaak. Vooral smoorspoelen en single ended uitgangstrafo's kunnen fikse lekvelden genereren, veel meer dan push-pull uitgangstrafo's.

De voorwaarden voor het optreden van deze vorm van overspraak zijn een grote bronstroom, of een relatief groot aantal windingen in L1. De impedantie R1 moet relatief laagohmig zijn, want in hoge impedanties is het lastig stroom te induceren. Er moet veel versterking vanaf de koppeling naar de uitgang plaatsvinden.
Bekende stoorbronnen zijn voedingstransformatoren en smoorspoelen.

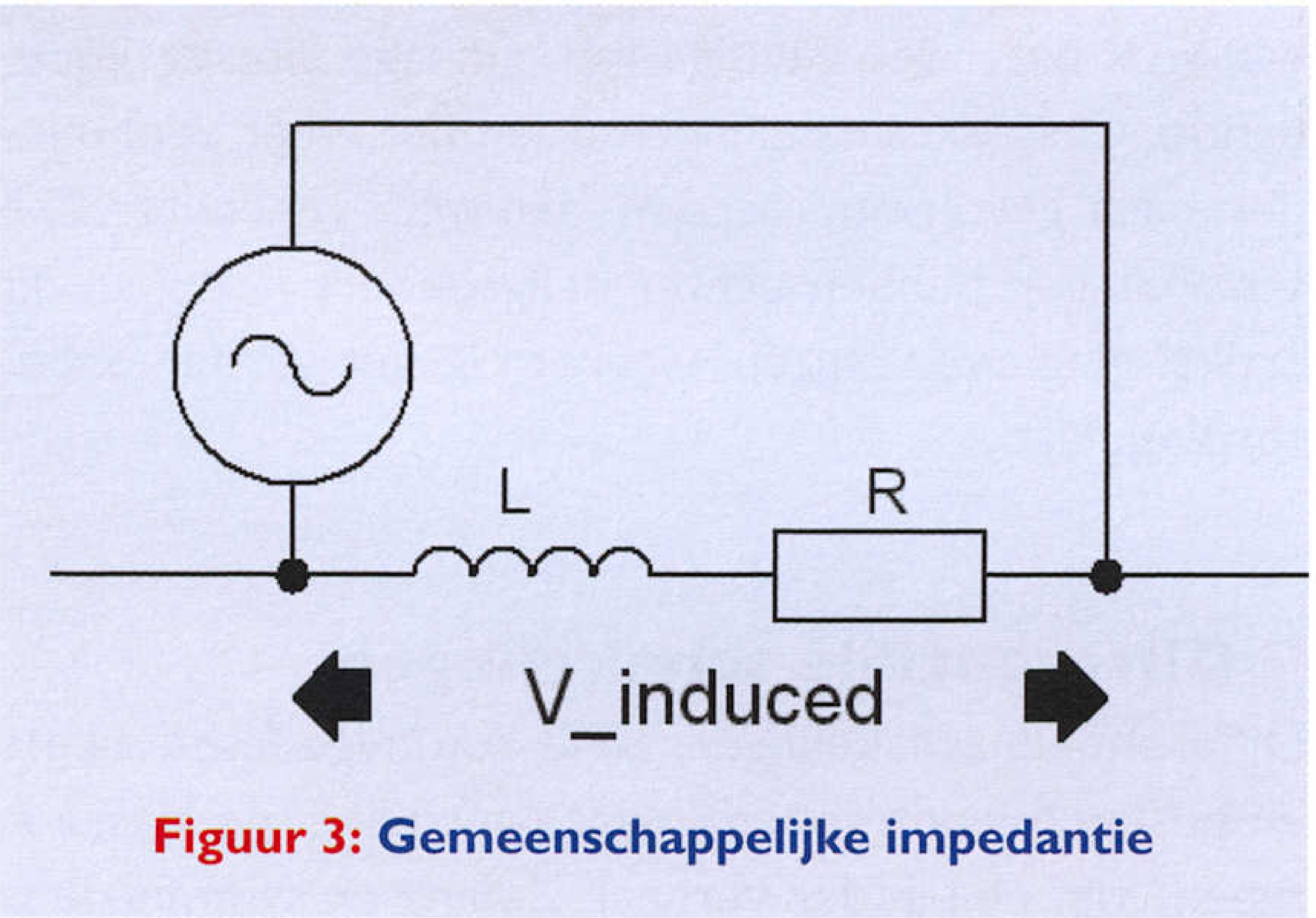


Figuur 2: Inductieve overspraak

Laagimpedante slachtoffers zijn bijvoorbeeld uitgangstransformatoren, maar ook de ingangsbedrading van laagohmige schakelingen zoals een MC voortrap. Ook hier geldt dat je aan het begin van een versterkerschakeling harder wordt gebeten omdat het stoorsignaal verderop in de schakeling meeversterkt wordt.
Bij inductieve storingen is het praktisch om te denken en te meten in het stroomdomein!

Koppeling via gemeenschappelijke impedantie

Bij koppeling via dit principe maken twee verschillende circuits (stroomlussen) deel van elkaar uit. Vaak is de aarde het gemeenschappelijk deel. Het gevolg van dit type storing is dat de aarde niet meer equipotentiaal is. Vinduced telt op in de signaal lus en storing is een feit. In het vervangingsschema is de impedantie van de aarde

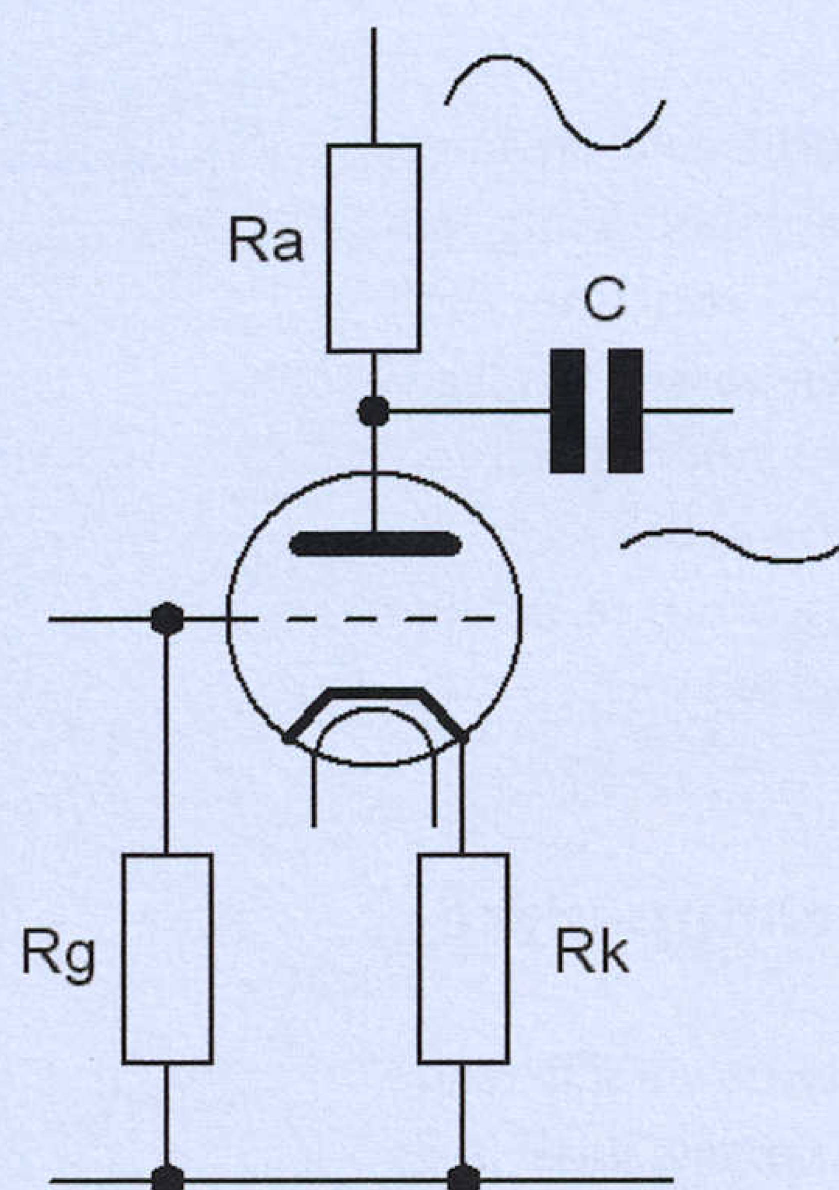


Figuur 3: Gemeenschappelijke impedantie

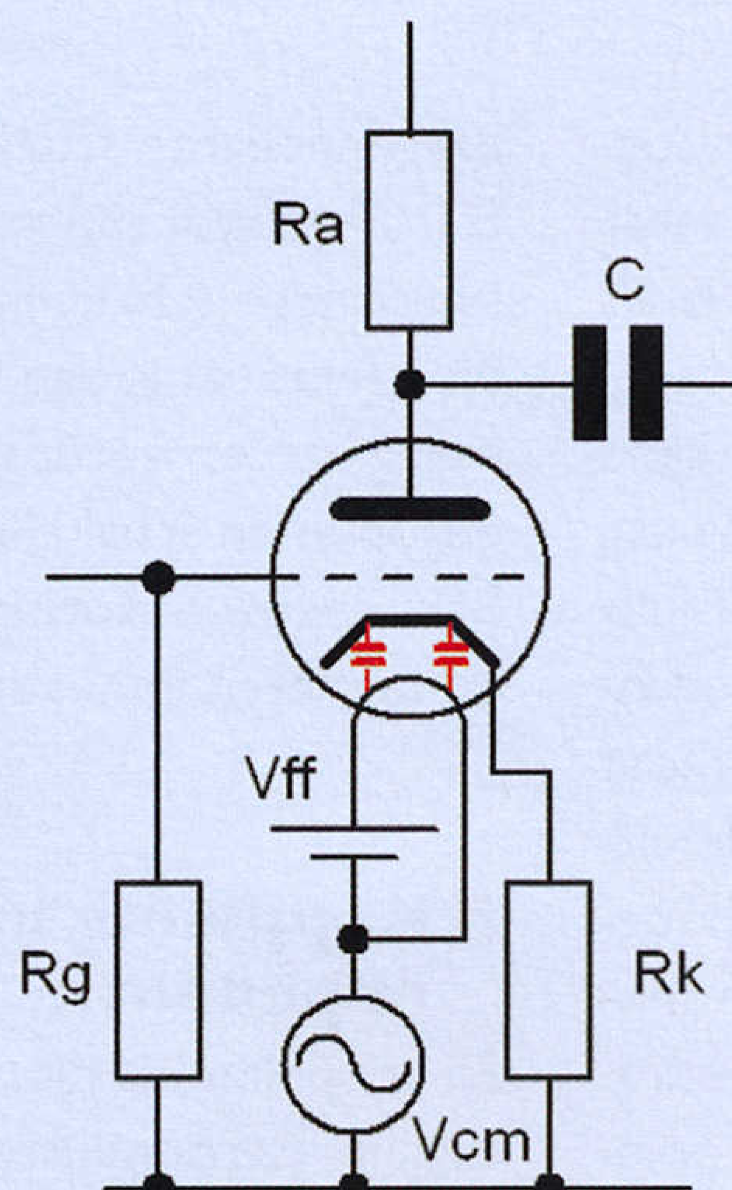
weergegeven middels een zelfinductie L en een ohmse weerstand R. De bijbehorende waarden van L en R hangen grotendeels af van de geometrie, zoals de dikte en lengte van geleiders en het lusoppervak dat ze insluiten. De stroomvorm zal verder bepalend zijn in welke mate L of R domineren.
Bij deze vorm van storing is het noodzakelijk om te denken en te meten in zowel het stroom als het spanningsdomein!

Via de hoogspanning

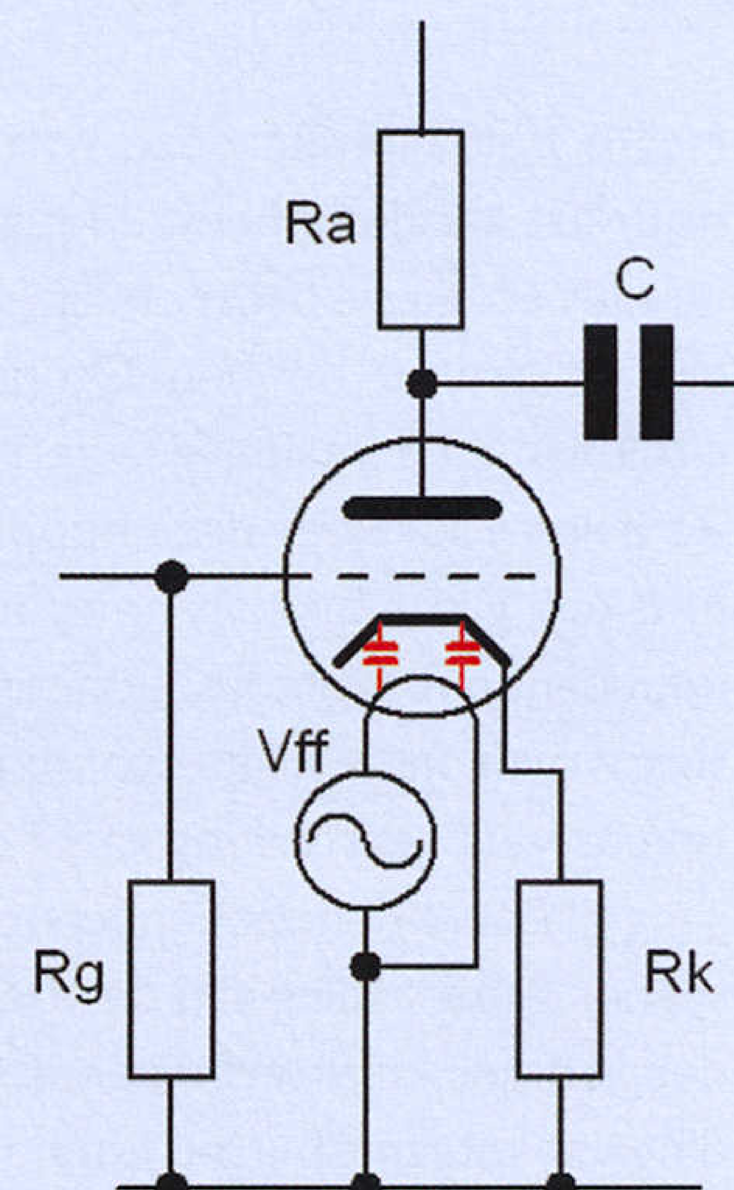
Hiervoor hebben we drie vormen van overspraak op het parasitaire vlak besproken. We laten die even voor wat ze zijn en gaan nu kijken hoe in een versterker op andere manieren brom kan ontstaan.
De schakeling in figuur 4 komt veel voor, ze is eenvoudig en goedkoop maar heeft één erg groot bezwaar: een matige voedingsrimpel onderdrukking (rejectie). In het geval van een ECC83 zien we vaak R1=220k en R3=2k2. De effectieve impedantie van de buis wordt bepaald door zijn eigen inwendige weerstand ri in het instelpunt plus de invloed van R3 en gegeven door (ri+m×R3); hier ongeveer gelijk aan 300k. Door de verhouding van 220k en de berekende 300k wordt de voedingsrejectie al minder dan 6dB. De helft van de voedingsrimpel komt dus op de uitgang van de schakeling terecht.
SRPP schakelingen gedragen zich niet anders, gegeven hun symmetrie is ook hier 6dB het getal om mee te



Figuur 4: Standaard triodeschakeling



Figuur 5: common mode koppeling



Figuur 6: differential mode koppeling

rekenen, niet bijster veel dus. Kathodevolgers doen het een stuk beter ten gevolge van hun lage uitgangsimpedantie. Cascodeschakelingen doen het weer veel minder, maar gevouwen cascodes zijn weer veel beter. Die schakelingen hebben echter halfgeleiders nodig en dit artikel ging over buizen, waarom ik het verder onbesproken laat.

Differentiële schakelingen

Differentiële schakelingen, zoals sommige fasedraaiers en pushpull eindtrappen (maar daar enkel de klasse A typen) zijn een ander verhaal. Zolang er symmetrie is in beide helften, is er een hogere rejectie. Bedenk wel dat 40dB rejectie vraagt om 1% matching in beide helften van de differentiële schakeling. Ook de weerstanden en de versterking (gm) en de inwendige weerstanden dienen aan deze voorwaarde te voldoen. Reken daarom voor voedingsrimpel onderdrukking met realistische waarden als 20dB.
Voedingsrejectie kun je uitrekenen om af te schatten waar de problemen kunnen liggen. Het valt buiten het bestek van dit artikel om daar in detail op in te gaan. Toch geef ik een paar hints. Bereken eerst de uitgangsimpedantie van de buis. Samen met de anodeweerstand vormt ze dan een spanningsdeler en die deler bepaalt de rejectie. Als deze bekend is, kan samen met de versterking van de eventueel opvolgende trappen berekend worden welke voedingsrimpel op de uitgang verschijnt en of deze nog acceptabel is. Merk ook op dat deze vorm van overspraak een lineaire overdracht heeft. De brom aan de uitgang van de versterker zal klinken zoals de brom op de voeding (*luister* daar dus ook eens naar, zie verderop de analyse methoden).

Brom via de gloeidraad

De voeding van de gloeidraad staat nu centraal waarbij we rekening moeten houden met een wezenlijk verschil tussen twee typen buizen; de direct verhitte en de indirect verhitte "kathode". Bij de storingsoverdracht spelen in beide gevallen zowel de common mode (CM) als de diferential mode (DM) een rol. Hierbij dient men zich goed te realiseren dat de kathode ook een ingang van de schakeling is, en dat de versterking van kathode naar anode ook (ongeveer) gelijk is aan mu. Een klein beetje storing op de kathode wordt dus vrolijk mee versterkt.

Indirect verhitte buizen

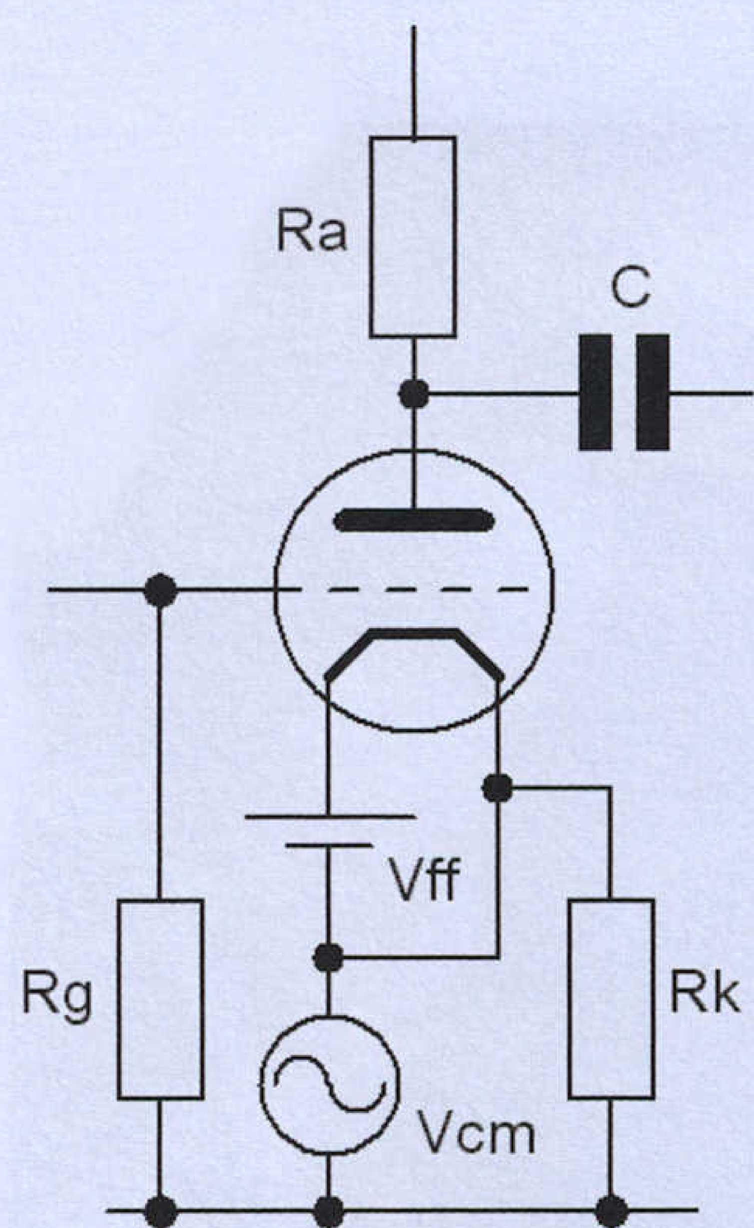
In dit geval speelt de parasitaire capaciteit tussen gloeidraad en kathode een rol (rood in figuren). Een spanning op de gloeidraad zal de spanning op de kathode in beweging brengen. Deze spanning kan volledig common mode zijn, zie figuur 5. Dit wil zeggen dat de gloeidraad in zijn geheel "beweegt" ten opzichte van aarde, maar het kan ook een deel van de kathode zijn, dat "in beweging" is, zoals in figuur 6.
In het geval van *common mode* koppeling is voor de zekerheid gelijkspanning gekozen voor het voeden van de gloeidraad (Vff). Nu weten we zeker dat de brom enkel veroorzaakt wordt door de common mode spanning Vcm en de capacitieve koppeling. Het gevolg van deze overspraak zal een ratelige storing zijn.
In het geval van *differential mode* koppeling is Vff zelf een wisselspanningsbron, die eenzijdig aan aarde ligt. Zo kan common mode geen invloed uitoefenen, maar zal een deel van de wisselspanning toch koppelen via de parasitaire condensator. Ook hier klinkt deze brom als ratel! Deze twee toestanden en de condities waaronder ze optreden zijn van belang bij het analysedeel. Vermoed je common mode koppeling, schakel de differential mode koppeling dan rigoureus uit en vice versa, anders zie je door de bomen het bos niet meer.

Direct verhitte buizen

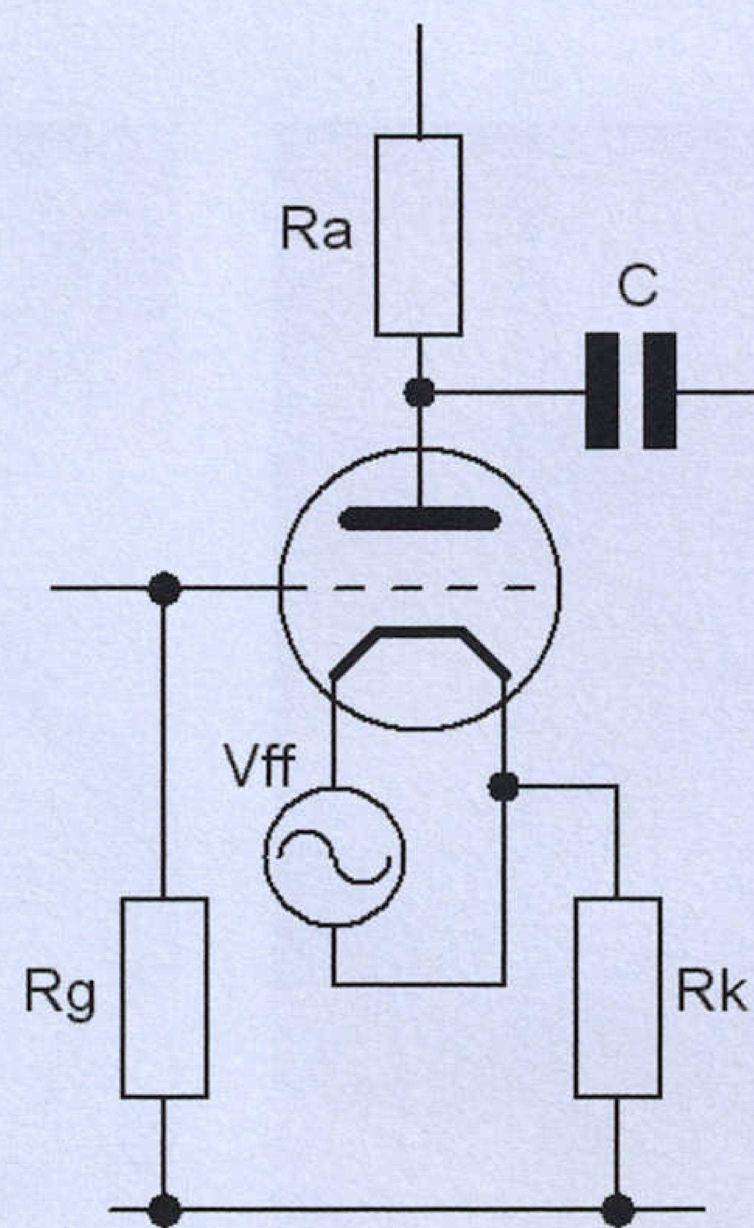
Bij direct verhitte buizen, zoals bijvoorbeeld de populaire 300B eindtriode, is de situatie wat anders. Omdat de kathode hier gelijk is aan de gloeidraad, is de overdracht van het stoorsignaal naar de anodestroom lineair. Zowel common mode (Figuur 7) als differential mode (Figuur 8) zullen koppelen naar de uitgang.

En nu de analyse

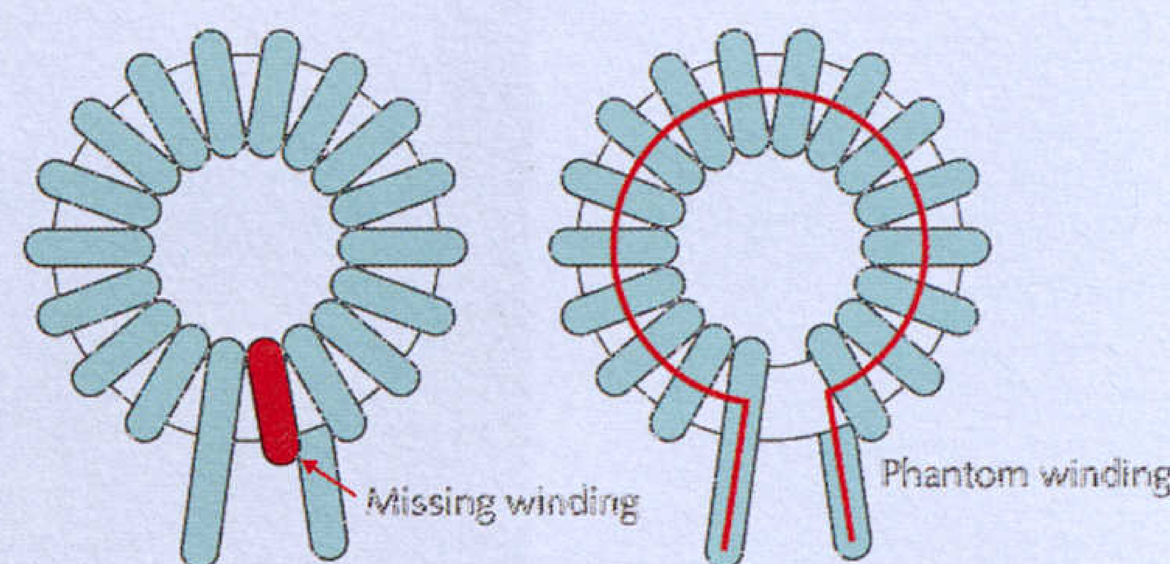
De boven beschreven mix van typen overspraak kan het leven van de zelfbouwer behoorlijk zuur maken. Zelden



Figuur 7: Common mode koppeling



Figuur 8: Differential mode koppeling



Figuur 9: De vermiste en verborgen winding van een ringkern

is er sprake van één oorzaak en zal men vasthoudend te werk moeten gaan om meerdere problemen te ontwarren. Daarbij is een structurele aanpak absolute noodzaak, anders gaat het oplossen te veel tijd en geld kosten, om de frustraties maar niet te noemen. Het houvast dat ik meegeef is dat buizen(voor)versterkers muisstil kunnen zijn, mits ze goed zijn ontworpen.

Terugkoppeling

Bij de analyse dient de terugkoppeling losgenomen te worden. Mét terugkoppeling wordt namelijk overal hetzelfde gemeten, hetgeen geen extra informatie oplevert. Indien bij het losnemen van de terugkoppeling het probleem erger wordt, dan bevindt zich de oorzaak binnen de feedback lus. Blijft de brom en ratel op hetzelfde niveau, dan bevindt de oorzaak zich buiten de lus. Let hier dus goed op, want dit is vitale informatie!
Mocht uw versterker mét terugkoppeling stil genoeg zijn, maar zonder terugkoppeling toch brommen, ga dan toch aan de slag met dit artikel. De brom mét terugkoppeling is dan weliswaar niet hoorbaar, maar het gevolg is dat er intermodulatievervorming met de 50Hz respectievelijk de 100Hz componenten op gaat treden. Daar heeft U zeker hoorbaar last van omdat deze vervorming de detaillering van het geluid aantast!

Boosdoener

Om vast te stellen of de boosdoener gevonden is, overweeg dan eens om de overspraak erger te maken, in plaats van ze meteen te willen oplossen. De koppeling naar een hoogohmig punt als een rooster of anode is bijvoorbeeld te verhogen door het zendende of ontvangende oppervlak te vergroten. Doe dit met bijvoorbeeld een geleidende folie. Let wel op dat er dan hoogspanning op het folie kan komen te staan. Vermoed u een magnetische of gemeenschappelijke impedantie koppeling? Belast dan de voedingstrafo extra door extra weerstanden als last aan de wisselspanningskant bij te schakelen. De stroom door de trafo neemt daardoor toe, wat dan extra brom op moet leveren. Uiteraard kan ook de verdachte voedingstrafo dichterbij de uitgangen geplaatst worden, om te zien of de brom toeneemt.

Allereerst volgt nu een methode op basis van het signaal, de vorm en frequentie. De oscilloscoop is hierbij uw vriend, evenals uw oren. Later bespreek ik een methode op basis van eliminatie.

Brom of ratel

In het geval van brom is er meestal sprake van inductieve koppeling. In het geval van ratel is er capacitieve koppeling

50Hz brom

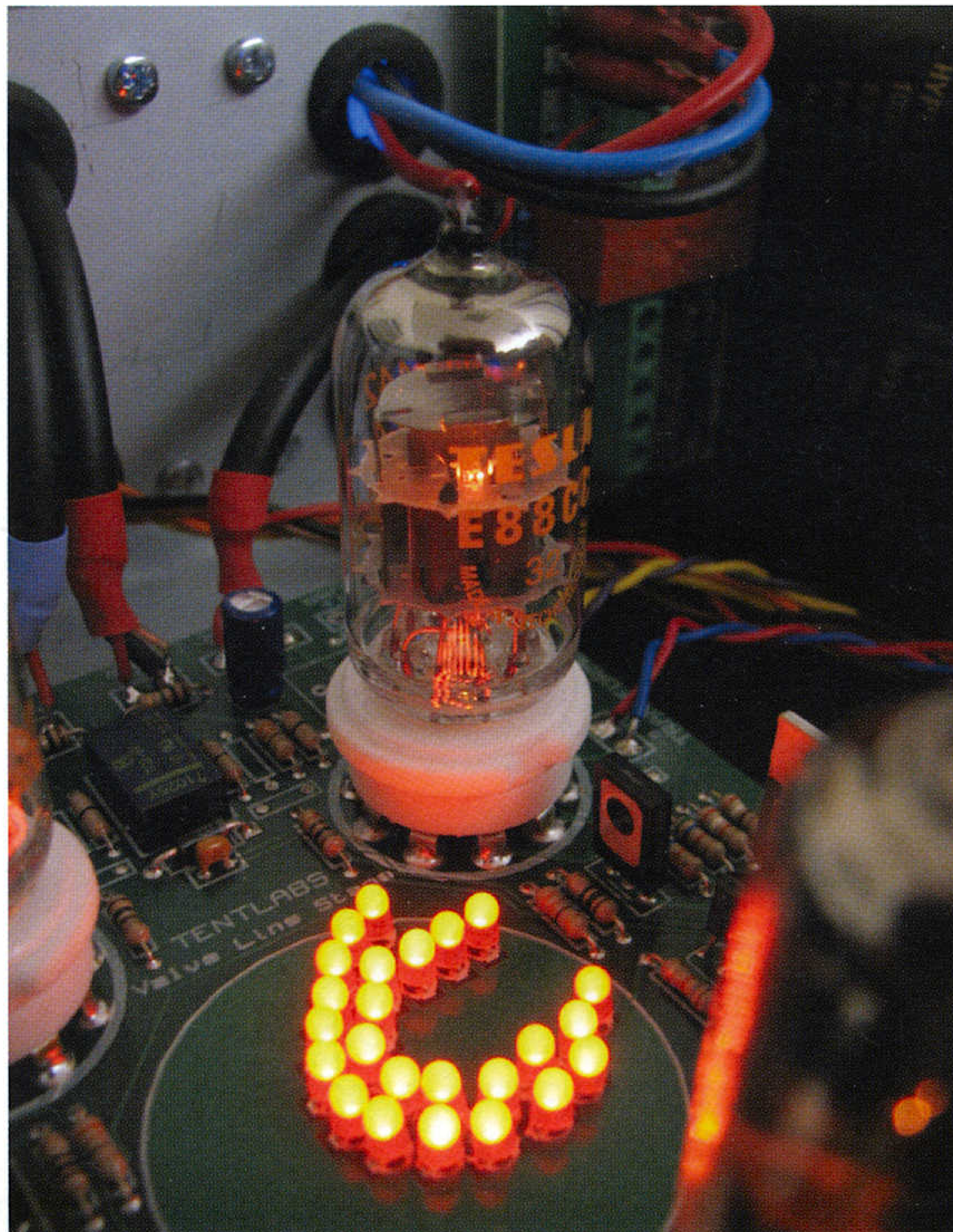
De hoofdoorzaken zijn voedingstrafo's en smoorspoelen. Deze koppelen in op de uitgangstrafo's, of de interstage trafo's (niet veel toegepast maar van harte aanbevolen). De koppeling kan veranderd worden door de onderlinge oriëntatie en/of afstand aan te passen.

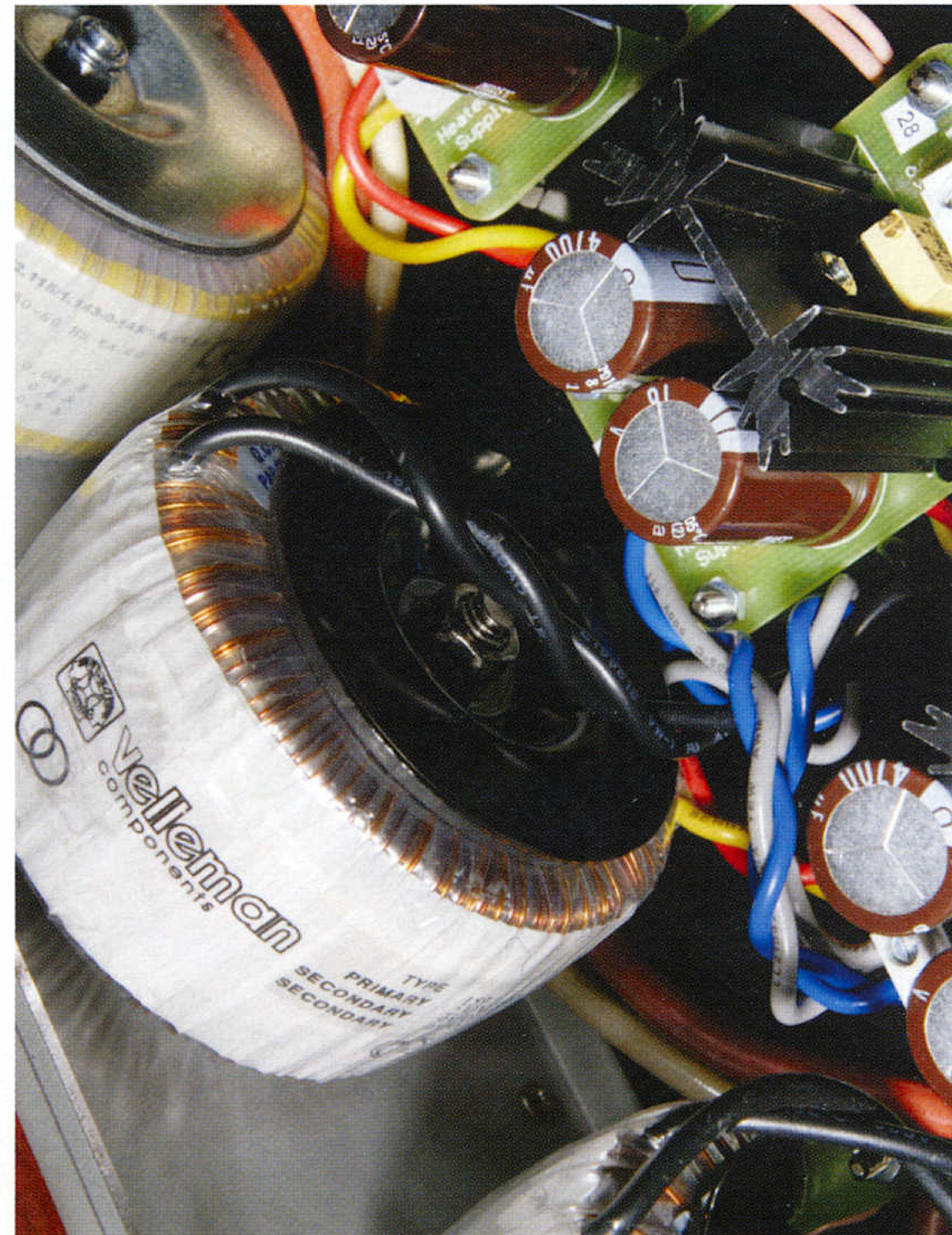
Voedingstrafo

Draai eerst de voedingstrafo een kwart slag, en daarna nog eens een kwart slag in de overgebleven dimensie. Blijf gedurende dit proces altijd meeluisteren naar de uitgang van de versterker. Het is niet altijd mogelijk de oriëntatie te vinden die absolute stilte oplevert. In dat geval zal wellicht de afstand vergroot moeten worden of zal er een magnetische afscherming geplaatst moeten worden (ijzer, of nog mooier mu-metaal). Houd in het achterhoofd dat de magnetische lek van voedingstrafo's zeer verschilt per fabrikant. Standaard EI trafo's lekken meer dan goede ringkerntrafo's. Maar als die niet zorgvuldig gewikkeld zijn (goedkope productie) dan kunnen ze net zo veel als EI trafo's lekken. In figuur 9 zijn twee mechanismen getekend waarom een ringkern kan lekken: de windingen zijn niet netjes over 360 graden verdeeld waardoor er een lekkende windingspleet ontstaat, en de zogenaamde spookwikkeling kan een gering lekveld produceren (met dank aan Bruno Putzeys).

Smoorspoel

Indien de smoorspoel de grote boosdoener blijkt te zijn en er geen optimale oriëntatie gevonden kan worden,





overweeg dan een actieve oplossing in de vorm van een elektronische smoorspoel; die lekken niet.

50 Hz ratel

In dit geval moet u direct denken aan zwevende gloeidraden (indirect verhitte buizen) of overspraak van de anodes en de bedrading van gelijkrichters.

100 Hz brom

Als er sprake is van 100Hz brom, dan is de kans zeer groot dat dit via de voeding ontstaat. Deze is namelijk dubbelzijdig gelijkgericht en bevat derhalve overwegend 100Hz componenten. Bereken eerst via het schema wat de toegestane rimpel is op de diverse voedingspunten, alvorens deze te meten. Het is overigens wel mogelijk dat signalen gemeten moeten worden die zo klein zijn dat ze op de scope niet meer waar te nemen zijn. Zorg dan voor een extra meetversterker met een instelbare versterking van 20dB tot 60dB. Sluit ook parallel aan de ingang van de oscilloscoop een stille audio versterker aan. Meeluisteren tijdens het meten is zeer illustratief. Als een voedingspunt verdacht is, is een snelle oplossing het verdubbelen van de ontkoppelcapaciteit; de brom moet dan halveren.
Het is overigens een goede zaak de berekende brom te verifiëren middels een simulator. Op Spice gebaseerde rekenprogramma's voldoen prima maar hebben een redelijke lange leercurve. Gelukkig is er een snelle oplossing in de vorm van "Power supply designer", ontwikkeld door Ben Duncan, zie 3) voor download.

100Hz ratel

100Hz ratel komt niet vaak voor: Er zijn in de praktijk weinig bronnen die een grote spanningszwaai maken op 100Hz, welke nodig is om via een capacitieve koppeling ratel te kunnen veroorzaken. Een voorbeeld is de ingangsbedrading van de spoel bij een swinging choke voedingsfilter. Sluit het dus nooit zomaar uit. Mocht U daar last van hebben, sluit die spoel dan zo aan dat de "hete" kant (de ingang) aangesloten wordt aan de binnenzijde van de spoel. De overige wikkelingen naar buiten toe zorgen dan voor een afscherming. De buitenste winding "staat stil"; deze ligt namelijk met een elco aan aarde en functioneert daarom als afscherming.

Sequentiële analyse

Mocht analyse op basis van de signaalvorm geen oplossing leveren, dan kan overgestapt worden op deze methode. Het aardige van buizen is dat ze in houders zitten. De correcte benoeming is "buishouders"; "buisvoeten" zitten onderaan vast aan het glas van de buis. Door nu één voor één buizen uit te nemen en te volgen wat er gebeurt in termen van brom, kan vastgesteld worden waar de oorzaak ligt. Er dient wel aan enkele voorwaarden voldaan te worden. 1) Neem de terugkoppeling los. 2) Ga na of er DC koppeling is tussen twee versterkertrappen. 3) Schakel de versterker eerst uit alvorens een buis uit te nemen of terug te plaatsen. In het geval van DC koppeling zal de biasspanning voor de volgende trap, die wegvalt door het wegnemen van een buis, in stand gehouden moeten worden opdat alle trappen normaal blijven functioneren. Dit kan met bijvoorbeeld een vaste weerstandsdeler.
Begin met het uitnemen van de eerste buis en schakel de versterker weer aan. Observeer wat er gebeurt met de brom en trek de conclusie. Let wel op; door het uitnemen van een buis wordt bijvoorbeeld de belasting van de voeding minder en kan dus daar minder rimpel ontstaan, hetgeen heilzaam is voor de overige actieve trappen. Blijf scherp bij dit soort analyse en zoek naar een eenduidige oorzaak en gevolg relatie. Na de eerste buis kunnen de volgende buizen uitgenomen worden en wordt de analyse herhaald totdat de oorzaak gevonden is.



Figuur 10: Gloeidraad referentie indirect



Figuur 11: Gloeidraad referentie direct



Figuur 12: Feedforward rimpel onderdrukker

Analyse tijdens in en uitschakelen

Indien een versterker warm is, en uitgeschakeld wordt, kunnen enkele zaken vastgesteld worden. De gloeiraden blijven nog circa 10 seconden warm en emitteren dus nog. Echter de wisselstromen door de trafo zijn nu wel afwezig! Dit kan u iets leren of de brom of ratel via gloeidraden of inductieve koppeling verloopt. Houdt wel rekening met een afnemende hoogspanning, het geluidsniveau zal langzaam afnemen, inclusief de brom. Het leuke van zo'n proef is echter wel dat het niets kost.

De wanhoop nabij

Alles nagelopen, maar niets helpt? Grijze haren? Dan is er nog één aspect dat vaak over het hoofd gezien wordt. De versterker staat te oscilleren, en wel meestal op enkele MHz! Dat is best, zult u zeggen, maar dan bromt hij toch niet? Toch wel, want de oscillatie is meestal AM gemoduleerd door de immer aanwezige 50 Hz component in het systeem. Demodulatie vindt plaats door niet lineaire actieve elementen, zoals versterkerbuizen en daardoor wordt brom waarneembaar. De oscillatie is meestal wel te beïnvloeden, bijvoorbeeld door ergens een probe aan te hangen. Ze stopt dan soms vanzelf. Als dat niet het geval is, is ze vrijwel zeker te beïnvloeden door uw hand snel van en naar de schakeling toe te bewegen, uiteraard met een luidspreker aangesloten om het effect te kunnen volgen. Als er van oscillatie sprake is, zal deze hierdoor beïnvloed worden, hetgeen direct hoorbaar is. De oscillatie is in negen van de tien gevallen parasitair en te stoppen door het juist toepassen van stopweerstanden (bij de roosters, schermroosters en soms zelfs bij de anodes; een anode is tenslotte ook een ingang).

Richting oplossen

Bij overspraak is er altijd sprake van een bron, een koppelweg en een ontvanger. Onthoud daarom dat een probleem dus op drie fronten aangepakt kan worden, of een combinatie van die drie.

Gloeidraden - *Indirect verhitte buizen*

De gloeispanning van indirect verhitte buizen dient in potentiaal altijd iets onder de kathodespanning te liggen, om verkorting van de levensduur door kathodevergiftiging te voorkomen. Respecteer in ieder geval altijd de maximale spanning Vkf (zie datasheet) die tussen de gloeidraad en de kathode mag bestaan, en verifieer wat er gebeurt tijdens in en uitschakelen. Het DC niveau van de gloeidraad kan eenvoudig vastgelegd worden door de (zwevende) gloeispanning met spanningsdelers te koppelen aan de juiste spanning. In figuur 10 is dit aangegeven door DCbias. Voor wisselspanningen dient de gloeidraad altijd capacitief gekoppeld te worden aan aarde door middel van de twee condensatoren "C", zie Figuur 10. Het is de ervaring van de auteur dat de eerste buis van een phono MC of MD trap toch altijd met gelijkspanning gevoed dient te worden om één en ander stil te krijgen. Alle volgende buizen kunnen met AC gevoed worden met als voordeel de eenvoud en als nadeel het ontbreken van enige vorm van stabilisatie. Gebruikt u een geleidend chassis waarop de buizen gemonteerd zijn? Leg dan de aanvoerdraden voor de gloeispanning aan de buizenzijde, het chassis werkt dan nog een beetje mee als afscherming. En uiteraard moeten deze aanvoerdraden getwist worden!
Nog een tip over de grootte van de gloeispanning: voed indirect verhitte buizen altijd met een gloeispanning die 3% onder de nominale specificatie ligt. Een langere levensduur is de winst. Kom echter nooit buiten de specificaties van (meestal) +/- 5%. Voor de populaire ECC buizen is 6,1V dus een prima waarde, in tegenstelling tot wat velen u doen laten geloven. Lager dan 6V is funest voor de levensduur!

Gloeidraden - *Direct verhitte buizen*

Bij direct verhitte buizen is de gloeidraad tevens de kathode. De gloeidraad maakt derhalve deel uit van het audiosignaal! Een uitgebreide uitleg hierover kunt U vinden op mijn website (zie 2).

Direct verhitte buizen dienen met een gelijkspanning of gelijkstroom verhit te worden, opdat de intermodulatievervorming zo laag mogelijk blijft. Mocht U toch wisselspanning willen gebruiken, dan is de traditionele ontbrompotmeter een must. Hiermee kunt u de 50 Hz brom reduceren. Er ontstaat echter wel 100 Hz brom die zich niet laat balanceren, omdat de overdracht van de kathode naar de anode niet lineair is. Die 100 Hz is een vervormingscomponent van de 50Hz. Nogmaals, gebruik gelijkspanning, of nog beter, gebruik gelijkstroom.

Voeding

Overspraak via de voeding kent twee fundamentele oplossing. Verhoog de voedingsrejectie van de schakeling en maak de voeding schoner.
Het verhogen van voedingsrejectie vergt vaak aanpassing van de schakeling en is niet altijd toepasbaar. De winst die behaald kan worden is gering. Besteed er daarom niet al teveel aandacht aan. Een uitzondering zijn differentiële schakelingen zoals bijvoorbeeld fasedraaiers of push-pull eindtrappen. Het symmetrisch maken van deze schakelingen is wel winst. Denk in het geval van een eindtrap zeker aan het vasthouden van identieke bias condities voor de push en pull helft. Niet alleen de brom vermindert, maar het komt ook ten goede aan de geluidskwaliteit. Balans uitgangstrafo's zijn niet gemaakt voor DC onbalans. Correcte balancering levert een betere laagweergave en detail informatie, zie 4).
De voedingsfiltering zal uiteindelijk de winst moeten brengen. Zoals gesteld is het "bruut" vergroten van de elco's een oplossing, maar denk ook in richtingen als het gebruik van hogere serie impedanties zoals smoorspoelen of stroombronnen. Daarbij helpen uiteraard lagere ontkoppel impedanties. Denk dus niet alleen aan dikke elco's, maar overweeg ook het toepassen van actieve oplossingen zoals shunts, al dan niet met feedforward koppeling. Een voorbeeld is hieronder gegeven in figuur 12, als alternatief voor een elco; warm aanbevolen.

Globaal geldt voor de component waarden:

$P \sim Rk + 1/s$

Waarbij s de steilheid is op het gekozen instelpunt. Dit laatste wordt bepaald door de voedingsspanning, het buistype en de waarde van Rk. Let op dat over P wat spanning verloren gaat. Als met P de rimpel eenmaal is geminimaliseerd, kan ze best vervangen worden door een vaste weerstand. Rk stelt de anodestroom in, die moet wel zo gekozen zijn dat de rimpelstroom (de ingangsrimpel gedeeld door P) weggeregeld kan worden. Let er op dat de werking van deze schakeling verder afhangt van s, en dus van de ingangsspanning en leeftijd van de buis. Deze is echter zeker te optimaliseren; deze basis schakeling geef ik mee ter inspiratie.

Capacitieve overspraak

De meest voorkomende variant hier is inkoppeling op het rooster van de eerste buis. Dit punt is vrij hoogohmig, tenzij de volumeregelaar dichtstaat! Dit is daarmee dus een prima middel om die koppeling de nek om te draaien. Sluit de ingang kort, start met volume op 0, draai op, naar 100%. Als in dat traject de brom oploopt en weer verdwijnt is het zeker koppeling naar de ingang; de bronimpedantie daar is namelijk nul bij de uiterste volumestanden, maar hoog in de middenstand. Plaats de ingangstrap daarom ver van de voeding. Gebruik afgeschermde (coaxiale) bedrading, waarbij de afscherming aan beide zijden moet worden aangesloten! Indien dit niet gebeurt werkt het scherm niet voor inductieve koppeling omdat er geen stroom door het scherm kan lopen, en wordt u door de hond gebeten nadat u de kat te grazen had genomen.
Een andere bron kan inkoppeling zijn op die mooie audiophiele koppelcondensator aan de uitgang van de eerste trap. De uitgangsimpedantie van een ECC83 anode is circa 50kΩ en die fysiek grote condensator heeft een relatief grote capaciteit naar de omgeving. Reduceer de koppeling, leg een geleidende folie om de koppelcondensator en leg dit folie aan aarde. Wordt de brom lager, dan is de oplossing bij deze bekend. Hetzelfde gebeurt met capacitieve koppeling naar anodes: Daarom zit er wel eens een metalen afschermhuls over een (meestal phono) buis.
In een commercieel ontwerp heb ik wel eens overspraak van de anode van de uitgangsbuis naar het rooster van de ingangsbuis van de phono-trap aangetroffen, deze zaten namelijk veel te dicht bij elkaar. Bij het opdraaien van de volumeregelaar begon het geheel luidkeels te piepen op een frequentie van enkele kHz. Het aanbrengen van een geleidende geaarde afscherming rondom de ingangsbuis hief dit effect op.

Inductieve overspraak

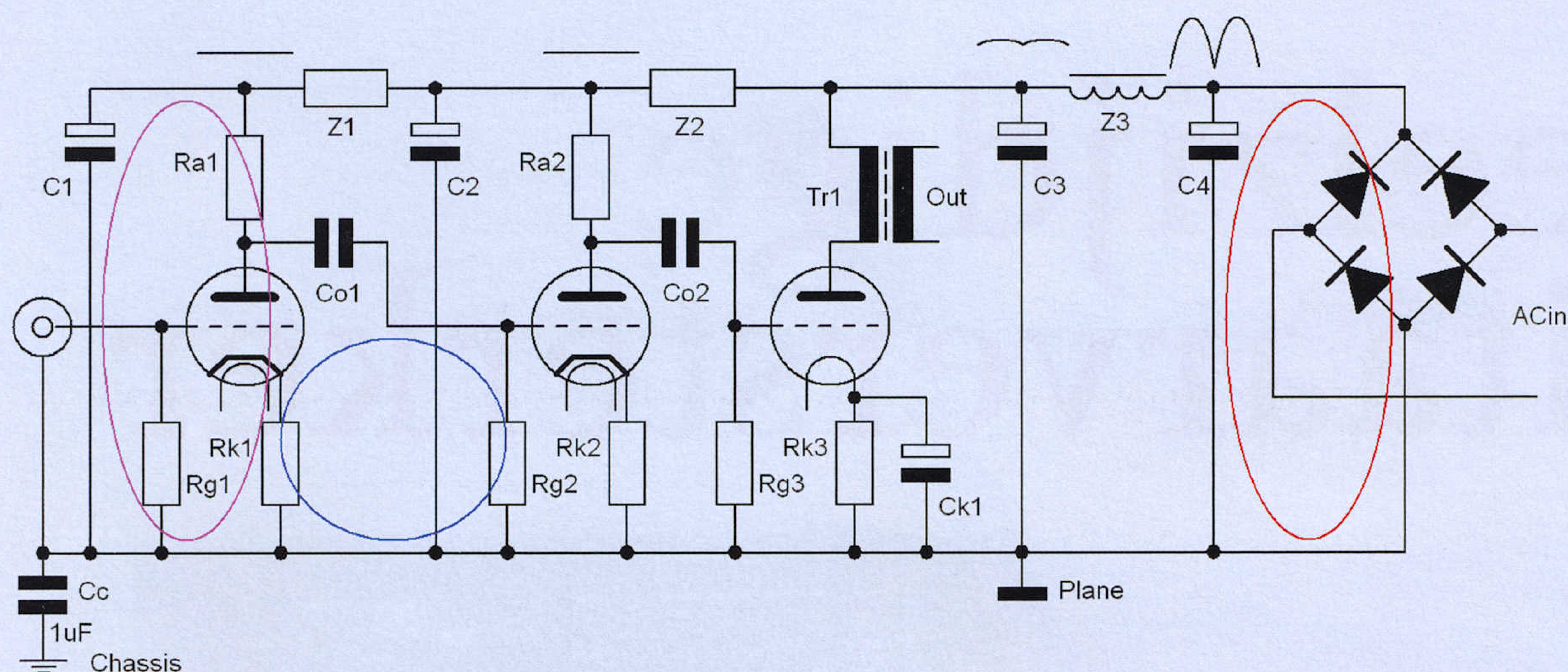
De meest voorkomende koppeling is die van voeding naar uitgangstrafo's, of circuit lussen. De onderlinge oriëntatie van trafo's dient zo gekozen te zijn, dat de wikkelrichtingen 90 graden op elkaar staan. Plaats voeding en uitgang daarom ook netjes in één lijn.

Gemeenschappelijke impedantie overspraak

De meest beruchte is de gloeistroom die door het aardcircuit loopt. Het gloeistroomcircuit moest toch immers aan aarde komen? De oplossing is eenvoudig: wees hardnekkig en geef iedere stroomlus zijn eigen retour, in plaats van retouren te combineren via een gemeenschappelijke aarde lijn of aarde vlak. Knoop lussen aan elkaar daar waar het hoort, bijvoorbeeld waar het gloeidraadcircuit aan aarde gerelateerd moet worden: bij de buis zelf dus.

Aarde filosofie

Tja, en dan nog een beetje een stokpaardje van de auteur. Ik "strijd" al jaren tegen steraardes (alles op 1 punt) en tweepunts aarding (signaal en voeding aarde apart). Steraarding levert enorme onnodige lussen op voor je audio signaal, tweepunts aarding doet dat ook. Het gevolg daarvan is dat de schakeling gevoeliger wordt voor externe velden, bijvoorbeeld van mobiele telefoons.



Figuur 13: Bedradingsconcept aarding

Ook wordt ik weemoedig van adviezen die het gebruik van 2.5 kwadraat voor de aardleiding propageren. Onthoud dat de signaalstroom van buis naar buis ook door het aardcircuit loopt (stroomwet van Kirchoff) en dat u het liefst ook daar die mooie (dunne) signaalbedrading toepast die verder in de schakeling zit.

Wat is nu het probleem? Als de potentialen over het gehele aardtraject niet identiek zijn of blijven, dan is de circuitreferentie geen constante referentie meer. De oplossing voor dit probleem is dus heel simpel: voorkom die potentiaalverschillen. Dit bereiken we door aan twee voorwaarden te gaan voldoen: 1) reduceer de amplitude van de stromen in verband met het ohmse deel van het aardcircuit en 2) reduceer de bandbreedte van de stromen in verband met het inductieve deel van het aardcircuit.

De grote boze wolf is in dit geval de piekstroom door de gelijkrichter, in figuur 13 aangegeven met de rode lus. In deze lus lopen piekstromen van zeker 10 maal de DC stroom. Voorkom te allen tijde dat dit deel van het circuit onderdeel wordt van je aarding of aardvlak. Dat is heel eenvoudig te realiseren door de aarde naar de schakeling af te nemen vanaf de tweede condensator, in dit geval C3. Bedraad zoals het getekend is. Voor de duidelijkheid is dit kritieke punt aangegeven met het aardsymbool. Alles rechts daarvan moet uit het aardvlak gehouden worden!

Impedantie Z3, hier gerealiseerd met een spoel, zal de piekstroom door C3 reduceren tot bijna gelijkstroom. Filter impedanties Z2 en Z1 blijven dat verder doen en samen met C2 en C1 houden ze eventuele stromen lokaal. Door middel van deze maatregelen wordt bereikt dat door de aarding enkel gelijkstroom en audio stroom loopt. Merk op dat dit een traditionele benadering is die, mits goed uitgevoerd, uitstekend werkt. De voordelen zijn dat 1) elk type bedrading kan gebruikt worden voor de aarding, 2) de lokale signaallussen kunnen geoptimaliseerd worden (b.v. de blauwe lus), 3) de lokale voedingslussen kunnen geminimaliseerd worden (b.v. de paarse lus).

In plaats van weerstanden en smoorspoelen, zoek ook eens in de richting van stroombronnen. Voor de elco's: zie eerder in dit artikel voor een actieve oplossing. Ook discrete zeners (shunts) doen het in combinatie met stroombronnen uitstekend, veel beter dan RC combi's. Het grote geheim van goede klank is schone voeding, je kunt daar niet genoeg aandacht aan besteden.

Als laatste bespreek ik de condensator Cc, linksonder in figuur 13. Deze verbindt de audio aarde aan het chassis (indien deze gemaakt is van geleidend materiaal). Hierdoor zullen de common mode stromen uitwisselen via het chassis en niet door de aarding van de schakeling. Plaats deze (film)condensator direct tussen de afscherming van de ingangsbedrading en het chassis, met zo kort mogelijke aansluitingen.

Slot

Ik heb in dit artikel gepoogd mijn jarenlange ervaring overzichtelijk samen te vatten. De stoorproblematiek is een uitgebreid gebied en als iets nog niet duidelijk is, neem dan rechtstreeks contact met me op, zie 5), zodat ik verder kan helpen.



Referenties

1) http://www.hypex.nl/docs/earth.pdf
2) http://www.tentlabs.com/InfoSupport/page35/files/Heatingmethods.pdf
3) http://www.duncanamps.com/psud2/download.html
4) http://www.mennovanderveen.nl/nl/autobias-voordeel.html
5) Voor vragen en opmerkingen: guido@tentlabs.com

Veelzijdige Gitaarversterker



Door Bart van Geyt

Veelzijdigheid is troef bij deze gitaarversterker. Niet alleen een clean kanaal, maar ook uitvoerig instelbare overdrive is mogelijk plus effectieve passieve toonregeling. Daarnaast is de eindversterker instelbaar van triode naar pentode, continu regelbaar van balans tot single ended en ook de dempingsfactor is instelbaar. Dit ontwerp is een klankmachine, een veelzijdig muziekinstrument.

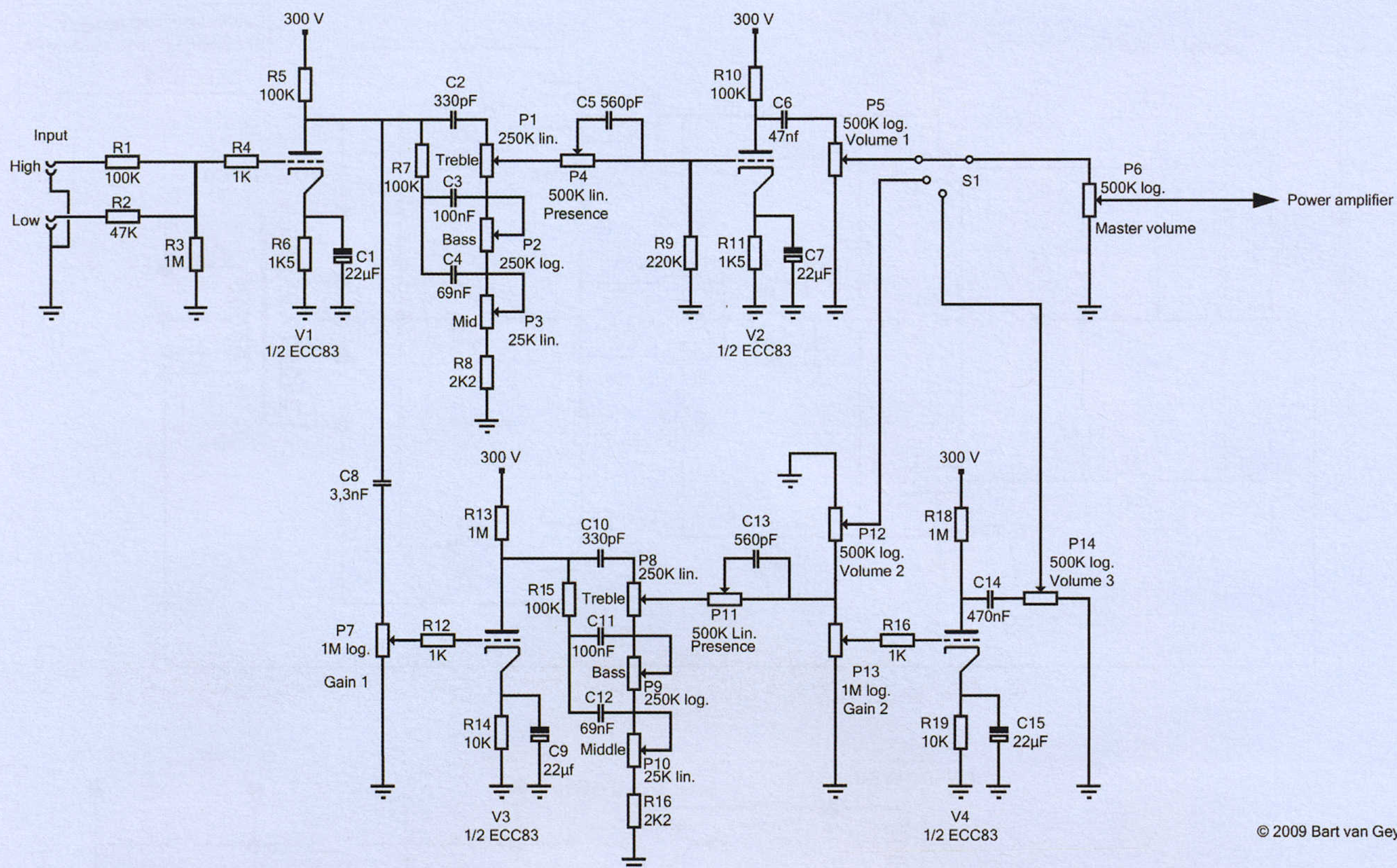
Een paar jaar geleden kreeg de buizenkoorts me te pakken. Ik bestelde een bouwpakket en stond verbaasd hoe geweldig buizenversterkers klinken, ik raakte verliefd tot over mijn oren! Met de internet hulp van Triodedick, en diyaudio.com kwam ik heel veel te weten en begon andere ontwerpen na te bouwen. Maar ik wilde ook zelf kunnen ontwerpen en al snel bleek dat ik gaten in mijn buizenkennis had. Daarom ben ik de opleiding TubeSociety (1) gaan volgen. Een van de medecursisten (zie het artikel van Willem van Thes) stelde voor om als toepassing van de opgedane kennis gitaarversterkers te gaan bouwen. Dit artikel laat zien hoe ik het heb aangepakt.

De wereld van gitaarversterkers

Hoewel ik officieel bassist ben en ook graag gitaar mag spelen had ik me nog nooit in gitaarversterking verdiept. Al snel bleek dat dit een wereld apart is, heel anders dan Hifi waar je zo min mogelijk vervorming wilt. In de gitaarversterking gaat het juist om vervorming, vooral in de wat steviger muzieksoorten. Die vervorming moet dan ook nog van de juiste soort zijn en goed klinken. Dit gaat bij transistorversterkers moeizaam terwijl buizen prachtig vervormen. De grote denkomschakeling die ik als ontwerper moest gaan maken was dat een gitaarversterker in wezen deel uitmaakt van het instrument. De klankkleur ervan bepaal je om te beginnen met de elektronische schakeling, maar ook met de uitgangstrafo's, welke speaker je gebruikt en hoe je de kast bouwt.
Mijn streven werd om een zo universeel mogelijke versterker te maken. Hij moest geschikt zijn voor stevige rock tot en met gillende solo's, maar ook voor rustig clean werk en versterking van akoestische instrumenten, waar juist wel Hifi-eisen worden gesteld om klankverkleuring en rondzingen te voorkomen.

Vervorming maken

Dit ontwerp was een mooie gelegenheid om die kennis



Figuur 1: Schema van de gitaar voorversterkersectie (Merk op: bij C1,7,9,15 is de zwarte bovenkant bedoeld als pluskant)

in de praktijk te gaan brengen. Zo hadden we geleerd de karakteristieke curves van een buis te gebruiken voor een optimaal instelpunt met zo weinig mogelijk vervorming. Aha, als ik dat nu eens expres lekker zo fout mogelijk zou gaan doen? Dat had absoluut het gewenste resultaat, een mooie vervorming met heel prettig in het gehoor liggende tweede harmonischen: een 'AC/DC-geluid' waar Angus Young een puntje aan kan zuigen!

Maar er is nog meer vervorming mogelijk, dat had ik vaak genoeg gehoord. Door mijn experimenten kwam ik er achter dat een 'slecht' instelpunt alleen niet genoeg is. Ik ging aan de slag met meer versterking, wat ook vervorming (oversturing) oplevert. Neem als voorbeeld één van mijn favoriete doommetalbands, *My Dying Bride*, die vaak maar een enkele snaar aanslaan en daarmee een vol geluid creëren wat ook nog eens uren blijft doorklinken. Met alleen "oversturing" kreeg ik dat specifieke geluid er niet uit. Het klonk nog niet helemaal lekker, alsof er een fuzzpedaal aanstond, een modderig ´plastic´ geluid. Ik kwam er achter dat de allerlaagste tonen roet in het eten gooiden, die maakten er een rommeltje van. Door een andere koppelcondensator te gebruiken kon ik die laagfrequente troep buiten spel zetten en dat was een behoorlijke aha-erlebnis. Dit was wat ik zocht, ik was klaar!

Figuur 1 toont het uiteindelijke schema van de voorversterker. Links wordt de gitaar ingeplugd en helemaal rechts verlaat het versterkte signaal de voorversterker. Met de driestanden schakelaar S1 kunnen drie kanalen gekozen worden.

Clean kanaal

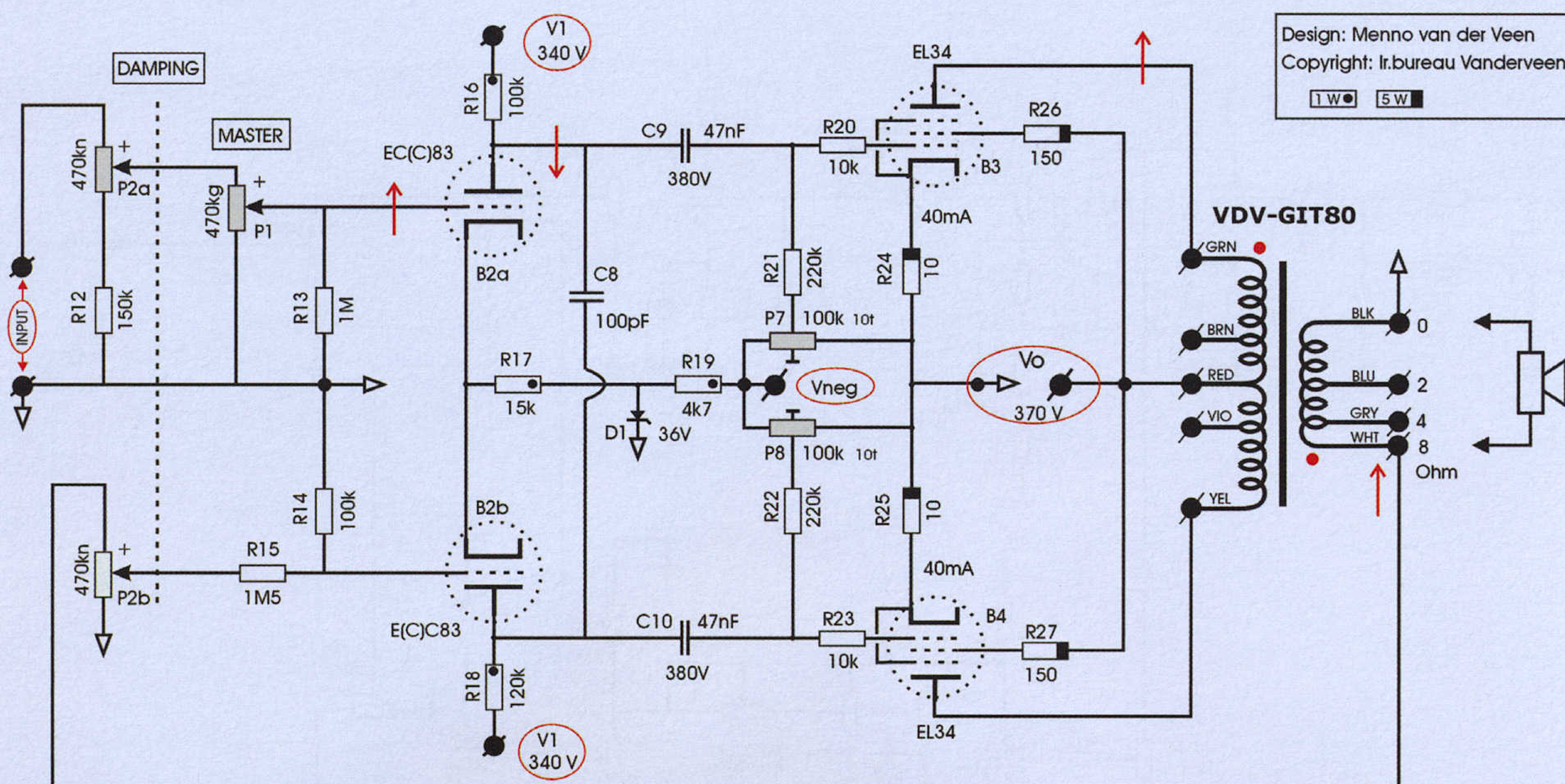
Staat S1 in de bovenste stand, dan hebben we het zogenaamde schone (cleane) kanaal. Het gitaarsignaal heeft de buisjes V1 en V2 doorlopen. Deze buisjes staan in een zo schoon mogelijke instelling met hun anode weerstanden van 100kOhm en kathodeweerstanden van 1k5. De toonregeling rondom P1,2,3,4 is een in de gitaarwereld vaak voorkomende passieve toonregeling die in alle instellingen een fraai vol geluid oplevert, zie ook 3). Nergens vindt in dit cleane kanaal oversturing plaats, de vervorming is zo laag mogelijk en dit kanaal is dan ook heel geschikt voor een schoon helder geluidsbeeld en voor akoestische instrumenten.

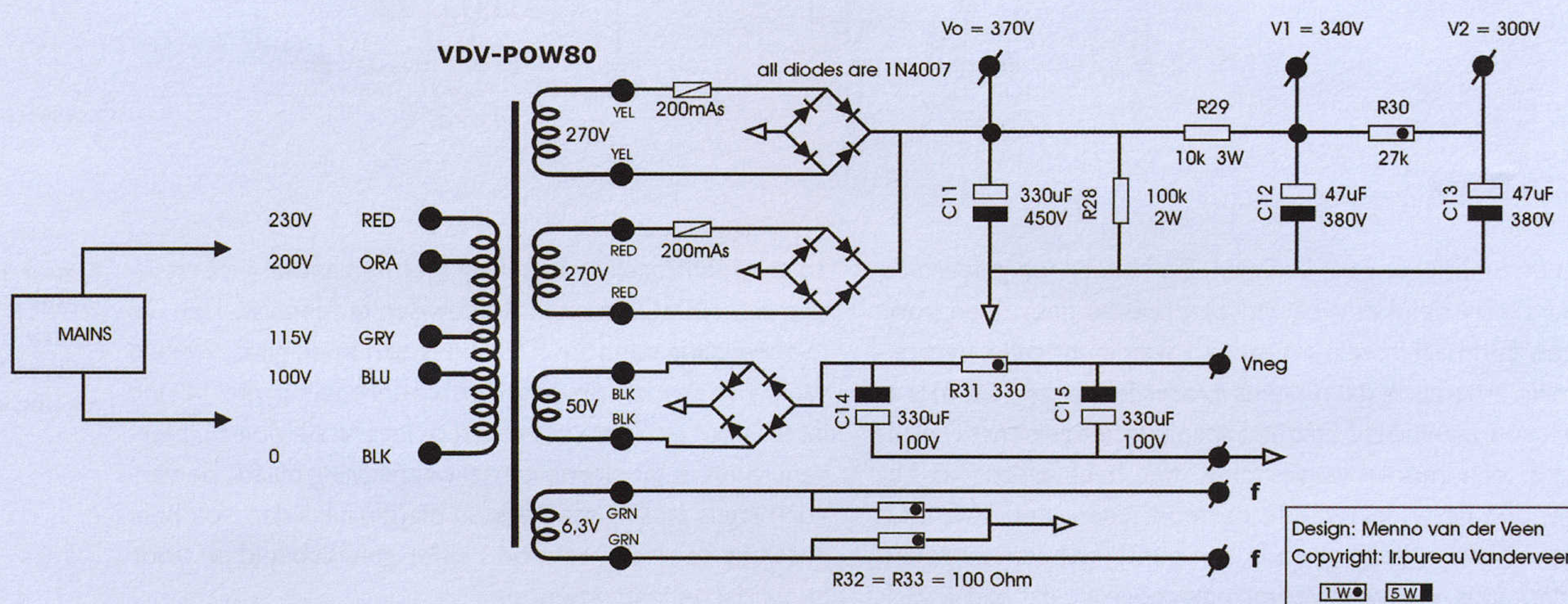
Distort kanaal

Staat de keuzeschakelaar S1 in de middelste stand, dan heeft het gitaarsignaal de buisjes V1 en V3 doorlopen, plus de toonregeling P8,9,10,11. In V1 heeft al voorversterking plaatsgevonden en via de koppelcondensator C8 wordt het signaal naar de Gain-1 potentiometer P7 gestuurd. De waarde van C8 (3n3) is uiterst belangrijk, omdat deze zo gedimensioneerd is dat de lage tonen onder 90 Hz worden tegengehouden, waardoor het "overstuurde" geluid niet rommelig gaat klinken. Dan gaat het signaal verder via buisje V3 die totaal verkeerd staat ingesteld, zie de sterk afwijkende waarden van de anode en kathode weerstanden R13 en R14. Deze verkeerde instelling levert een mild klinkende harmonische vervorming op. Hoe verder de gain P7 wordt opengedraaid, des te intensiever die vervorming hoorbaar wordt. Daarna volgt de bekende toonregeling en een volumeregelaar P12 die het volume van dit kanaal bepaalt.

Overdrive kanaal

Met S3 in de onderste stand hebben we het "overdrive" kanaal te pakken. Het signaal van het "distort" kanaal





Figuur 2: De 30 Watt Pentode Project eindversterker

Figuur 3: De voeding van de gitaarversterker

wordt regelbaar met P13 door het buisje V4 nog eens extra versterkt. Ook V4 staat verkeerd ingesteld, maar dit buisje krijgt zoveel signaal binnen dat hier echt sprake is van instelbare stevige oversturing. Merk op dat het "distort" en het "ovedrive" kanaal dezelfde toonregeling gebruiken, dus die twee kanalen beïnvloeden elkaar onderling een beetje.

Volume en Gain

Elk kanaal heeft zijn eigen volume regelaar, respectievelijk P5, P12 en P14. Deze kunnen zo ingesteld worden dat bij omschakelen van S1 niet te grote volumeverschillen optreden. Bijvoorbeeld kan P14 ook zo ingesteld worden dat de scheurende solo voldoende luider klinkt dan de zachtere begeleiding via P5. De gain regelaars P7 en P13 beïnvloeden natuurlijk het volume ook, maar bepalen in hoofdlijn hoever de buisjes V3 en V4 in de vervorming worden gestuurd.

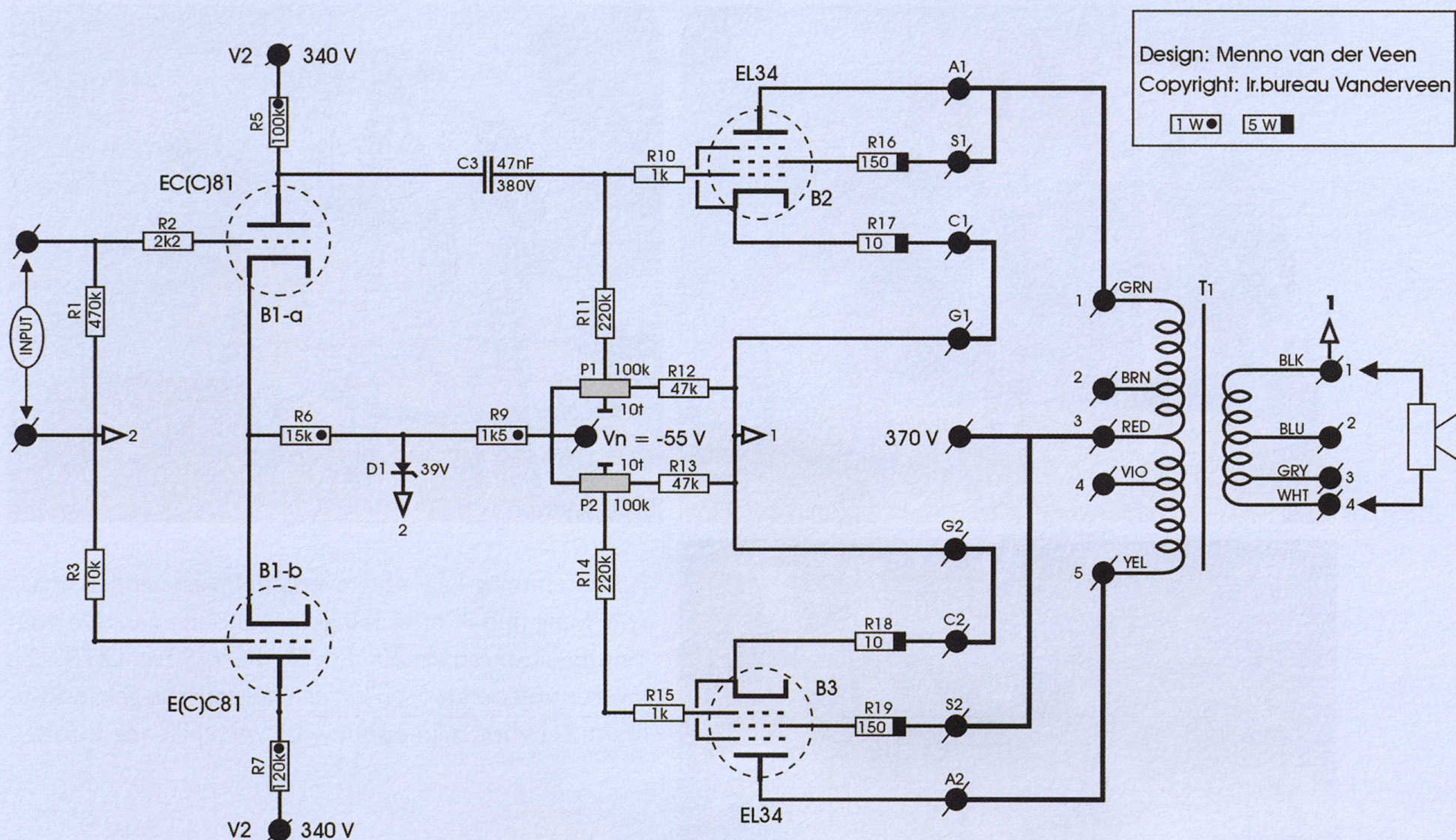
Het "distort" kanaal klinkt ietsje zwakker dan de andere twee kanalen omdat de tweede toonregeling behoorlijk veel signaal opslokt. Maar dat is door iets hogere instelling van P12 goed op te vangen.

De master volumeregelaar P6 bepaalt hoeveel signaal uiteindelijk naar de eindversterker gevoerd wordt. De regelaars P5 en P12 en P14 zijn dus hoofdzakelijk bedoeld om de luidheid gelijk te houden als S1 in zijn verschillende standen wordt geplaatst.

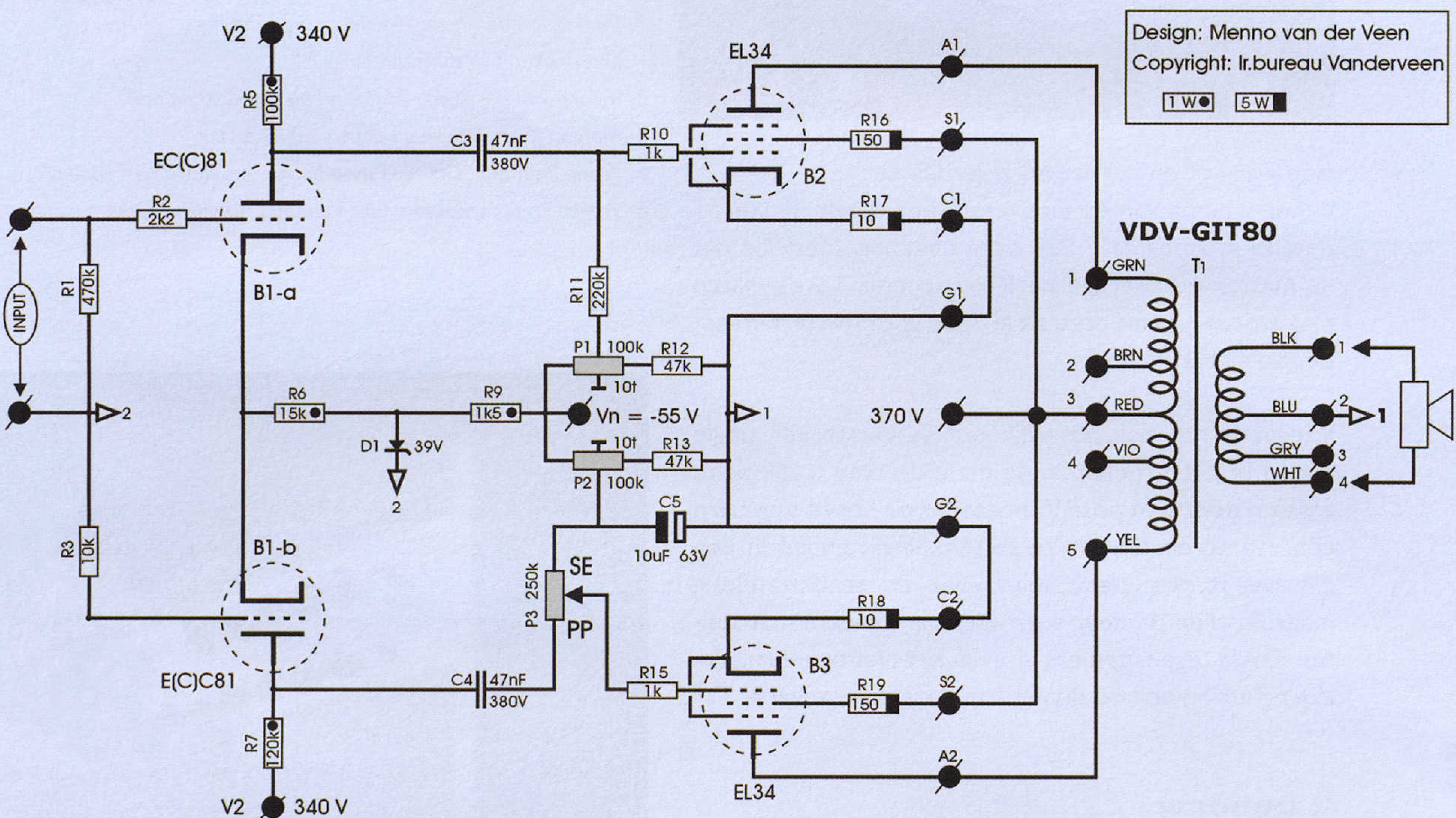
Eindversterking

De eindversterking wordt gedaan met een iets gemodificeerde Vanderveen Project-versterker, een universele balansversterker die door verbindingen te verwisselen in 20 verschillende versterkers om te toveren is. In dit geval gaan we uit van een pentode push-pull schakeling met 6550-buizen, een combinatie die 30 Watt oplevert. Zie figuur 2 voor het schema van de versterker en zie het boek 3), hoofdstukken 9 en 10, voor een uitgebreide beschrijving en achtergrond. Figuur 3 toont de voeding die niet alleen de eindversterker maar ook de voorversterker voedt.

Voor mijn privé gebruik is 30 Watt méér dan genoeg, maar mocht het nodig zijn, dan kan de anodespanning van 370 Volt worden opgevoerd tot 740 Volt door de dubbele hoogspanningsvoeding in serie te zetten. Het vermogen wordt dan 70 Watt. Even voor de niet-gitaristen: gitaarspeakers zitten qua gevoeligheid vaak



Figuur 4:
Instelling van de eindversterker als 15 Watt triode versterker.



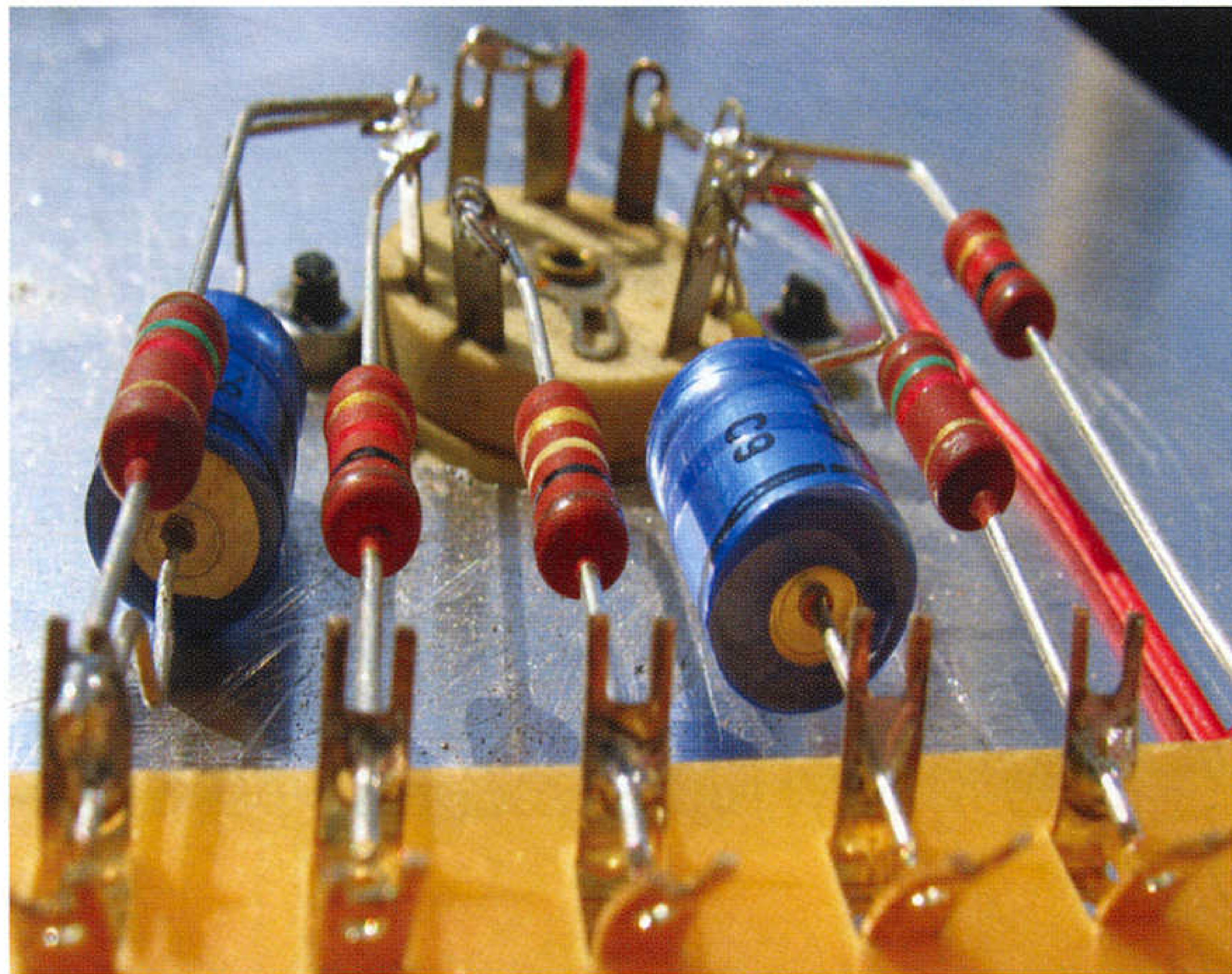
Figuur 5:
Regelbare overgang van PP naar SE

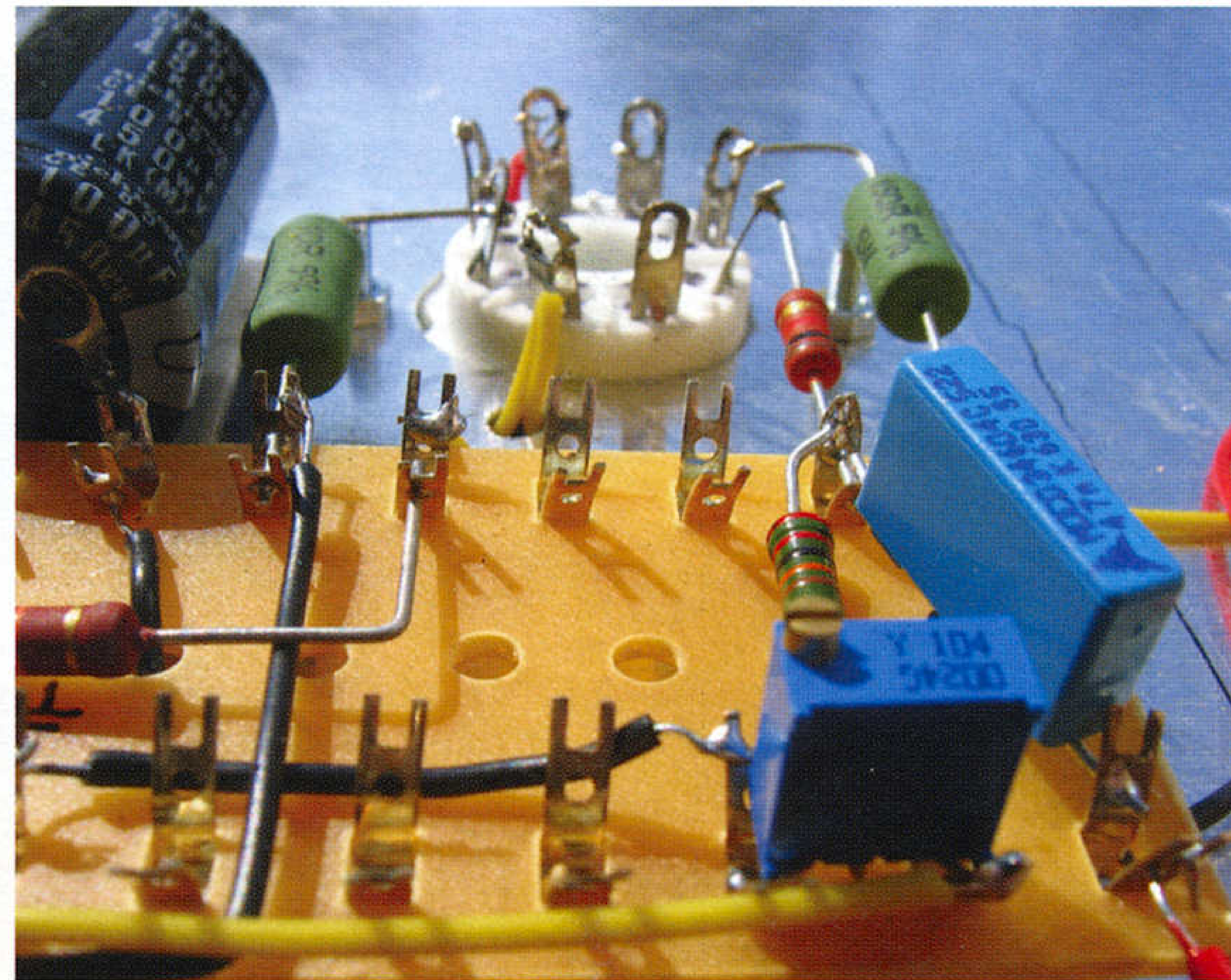
tegen de 100 dB/W,m aan. Jimi Hendrix deed bijna de VARA studio instorten met zijn 100 Watt Marshall. Met 30 Watt in de huiskamer en op podia hebben we het hier dus werkelijk over een enorme bak herrie van bijna 115 dBspl op één meter afstand. Oordoppen worden dan zeker aangeraden.

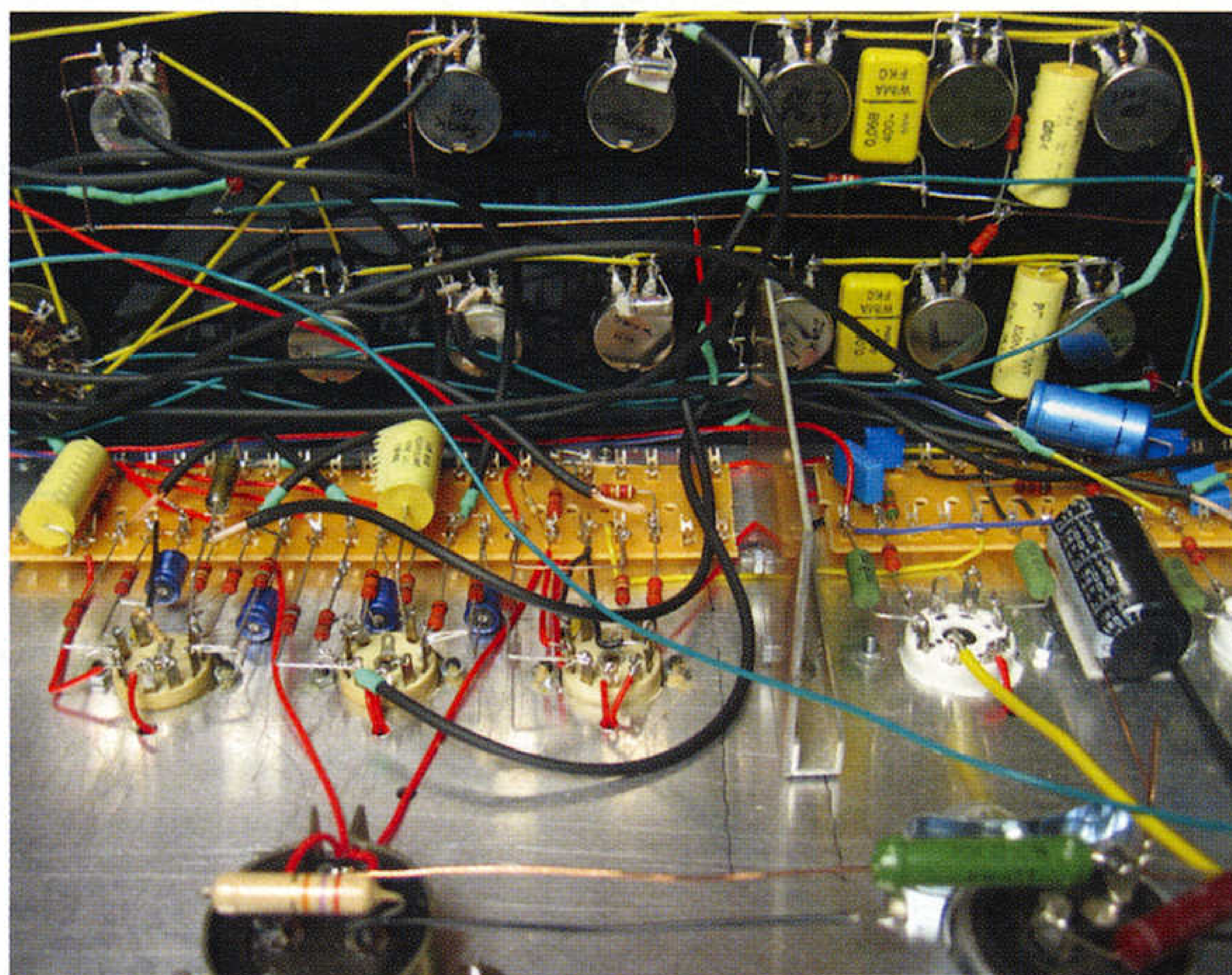
Eindversterker instellen

Een vrij orthodoxe schakeling is de mogelijkheid om de versterker in triode te zetten, zoals in Hifi versterkers gebruikelijk is. Dit geeft al aan dat het gitaargeluid ook wat meer Hifi wordt en de versterker minder een eigen invulling van de totale instrumentklank geeft. Het vermogen loopt hierbij terug tot 14 Watt. Zie figuur 4 waarin duidelijk zichtbaar is dat de schermroosters via een tweepolige schakelaar nu aan hun anodes worden gekoppeld.

Een andere Hifi achtige optie is de regelbaarheid van de hoeveelheid tegenkoppeling, op de versterker 'damping' genoemd, omdat dit tevens de dempingsfactor regelt. Bij een hoge dempingsfactor worden de teugels van de speakerconus strak aangehaald en volgt die zoveel mogelijk het muzieksignaal. Een strakker geluidsbeeld is het resultaat, terwijl het geluidsbeeld met weinig dem-







ping warmer en ruimer en vrijer klinkt.
In het schema van de eindversterker regelt de stereo potentiometer P2a + P2b deze demping. Merk op dat de master volumeregelaar P1 in schema 3 weggelaten mag worden, want deze zit al in de voorversterkersectie, zie aldaar P6.

Verder is het ook mogelijk om de versterker single ended te laten spelen en de mate daarvan traploos te regelen door een potentiometer voor het rooster van één van de eindbuizen te zetten. Single ended in een gitaarversterker heeft felle voor en tegenstanders, maar ik wilde de deur voor de voorstanders niet sluiten. En de tegenstanders hoeven het niet te gebruiken. Zie figuur 5 voor de details van deze schakelwijze.

Opbouw

De opbouw is weinig exotisch, er is gebruik gemaakt van vrij standaard componenten. De hoogspanning wordt gelijkgericht met 1N4007 diode's, er is een snubbernetwerk gebruikt om de schakelpieken van de diodes te neutraliseren door een weerstand en een condensator parallel te zetten over iedere diode. De voedingscondensatoren zijn een combinatie van de bekende blauwe BC en JJ elektrolyten, met een grote 8 μF polypropyleen in olie parallel. De weerstanden zijn gewone standaard metaalfilm 1W weerstanden.
Op zich was er nog ruimte om te experimenteren met andere componenten, carbon composiet weerstanden en exotische koppelcondensatoren, maar dat viel buiten de strekking van dit project. Het was eerst zaak om een tevreden stemmende gitaarversterker te maken. Fijnafstemming kan later eventueel plaatsvinden, maar voorlopig heb ik daar zelf geen behoefte aan. De voeding en uitgangstrafo zijn de VDV POW80 en GIT80. Ze leveren voldoende ' sap' en een fantastische geluidskwaliteit! Zie voor mijn opbouw de verschillende foto's.

verwijzingen:

1- www.mennovanderveen.nl, sectie <tubesociety>
2- Menno van der Veen: "Moderne high-end buizenversterkers met ringkerntransformatoren"
3- Menno van der Veen: "High-end buizenversterkers 2"
4- Morgan Jones: "Valve amplifiers - third edition"
5- Aspen Pittman: "The tube amp book – deluxe revised edition"
6- Vragen en opmerkingen: Bart Van Geyt <untitledii@hotmail.com>



Aangezien de eindtrap van een buizenversterker bepalend is voor de klankkleur en het dynamisch bereik kan worden overwogen verbeteringen en/of vereenvoudigingen de voorversterker uit te voeren met transistoren. Een dergelijke aanpak is het uitgangspunt voor deze versterker. Een speciaal voor dit doel ontworpen verschilversterker met PNP transistoren stuurt een ultralineaire klasse AB balans uitgangstrap met twee stuks EL34. Een integratorschakeling met een differential input zorgt voor een nauwkeurige DC balans in de eindtrap.

Hybride vermogens-versterker

DOOR WIM DE JAGER

Klassieke fasedraaier

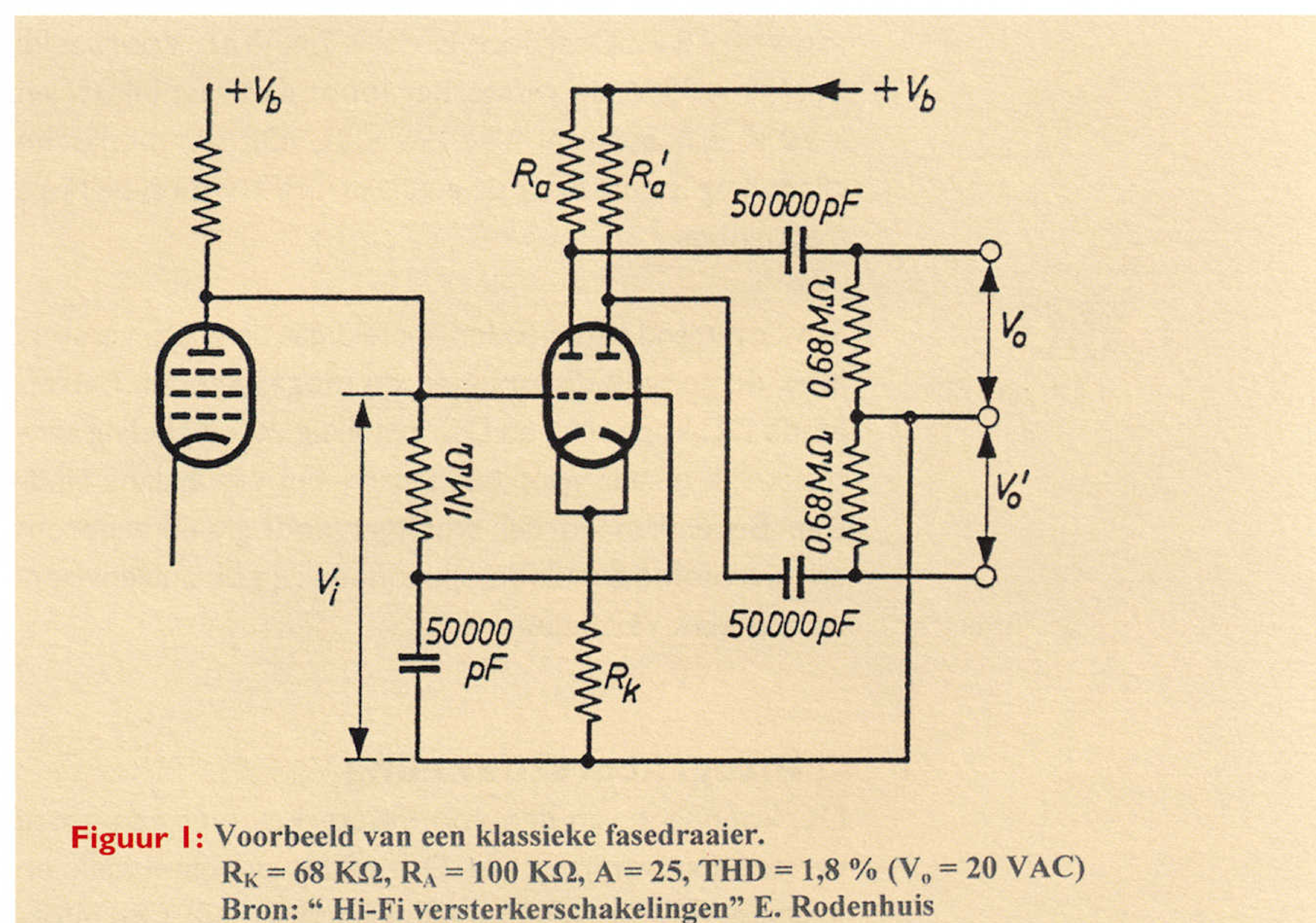
Voor het sturen van een balans eindtrap zijn twee signalen nodig met dezelfde amplitude en tegengestelde fase. Van oudsher wordt de hiervoor benodigde schakeling een fasedraaier genoemd, maar het is veelal een verschilversterker. Het principe van een veel gebruikte buizenschakeling is gegeven in figuur 1. De DC spanningen op de stuurroosters van de triodes zijn gelijk aan de anodespanning van de penthode. Hierdoor valt een relatief grote spanning over Rk en wordt een stroombronwerking benaderd. Bij Ra = Ra' ontstaan gebalanceerde uitgangssignalen. Het rechter stuurrooster wordt d.m.v. een condensator voor AC met massa verbonden. Door de lage μ van triodes (μ is de maximaal haalbare versterking indien in de anodeketen een ideale stroombron aanwezig is) is de versterking Vo / Vi vrij gering wat een drietraps schakeling noodzakelijk maakt.

Verschilversterker met PNP transistoren

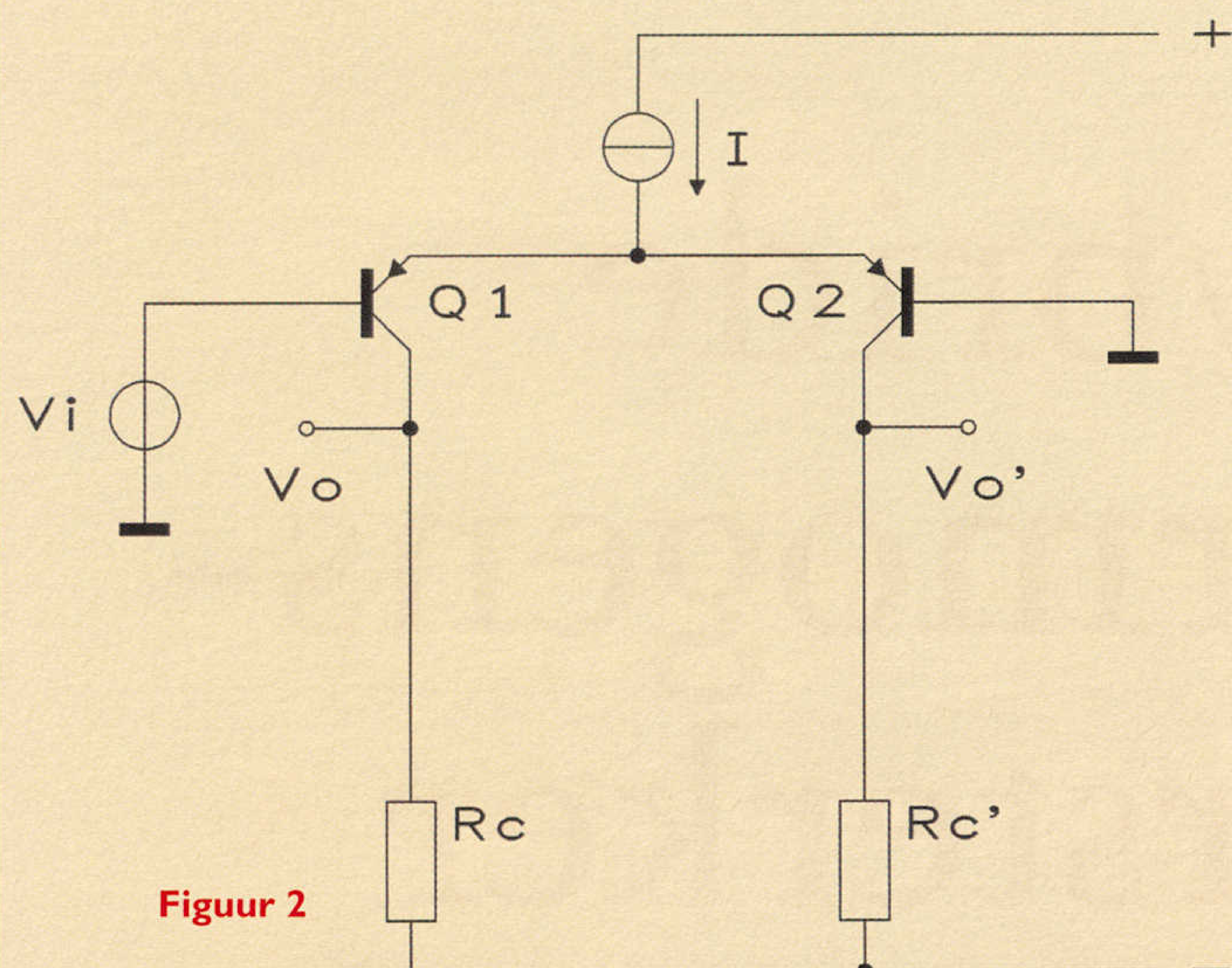
De μ van bipolaire transistoren is ongeveer 30 keer zo groot als die van triodes. De maximaal haalbare spanningsversterking is dus ook groter waardoor in principe een tweetraps ontwerp mogelijk is. In figuur 2 is een alternatief voor de schakeling van figuur 1 gegeven. Door de PNP keuze kunnen de potentialen op de collectoren van Q1 en Q2 dienen als negatieve stuurroosterspanningen voor de eindbuizen. Door DC koppeling vervallen de nadelen van koppelcondensatoren. In deze basisuitvoering gelden echter een 3-tal nadelen: 1) Bij een uitsturing van 90% is de distorsie ongeveer 25%. Dit is veel meer dan de distorsie van de eindtrap en is dus onaanvaardbaar. 2) Er is een koppeling tussen DC uitgangsniveau en de versterking. Indien we d.m.v. het regelen van I of Rc de eindbuizen willen instellen zal ook de versterking een verandering ondergaan. 3) De versterking valt bovendien lager uit dan de μ van de transistoren. Genoemde eigenschappen kunnen aanzienlijk worden verbeterd door de schakeling te wijzigen zoals aangegeven is in figuur 3.

De werking is als volgt: De collectorstromen van Q3 en Q4 activeren via R10 en R11 en de in geaarde basisconfiguratie geschakelde transistor Q7 de transistoren Q5 en Q6. Dit heeft voor wat betreft de DC instelling tot gevolg dat bij benadering geldt IC (Q3) = IC (Q5) en IC (Q4) = IC (Q6). Bij uitsturen van Q3 en Q4 blijven de collectorstromen van Q5 en Q6 ongeveer constant zodat er sprake is van een stroombronfunctie. Met behulp van Vref kan het DC niveau van Vo en Vo' worden ingesteld. De maximale waarde van R10 en R11 wordt begrensd door de maximaal toelaatbare spanningsval over deze weerstanden veroorzaakt door de basisstromen van Q5 en Q6. Voor dit ontwerp is gekozen voor R10 = R11 = 47 KΩ. Mede door deze keuze zijn de uitgangsspanningen ca. 1,5 V positiever dan Vref . Met Vref kan de voor de eindbuizen gewenste negatieve roosterspanning worden ingesteld terwijl de versterking nagenoeg constant blijft.

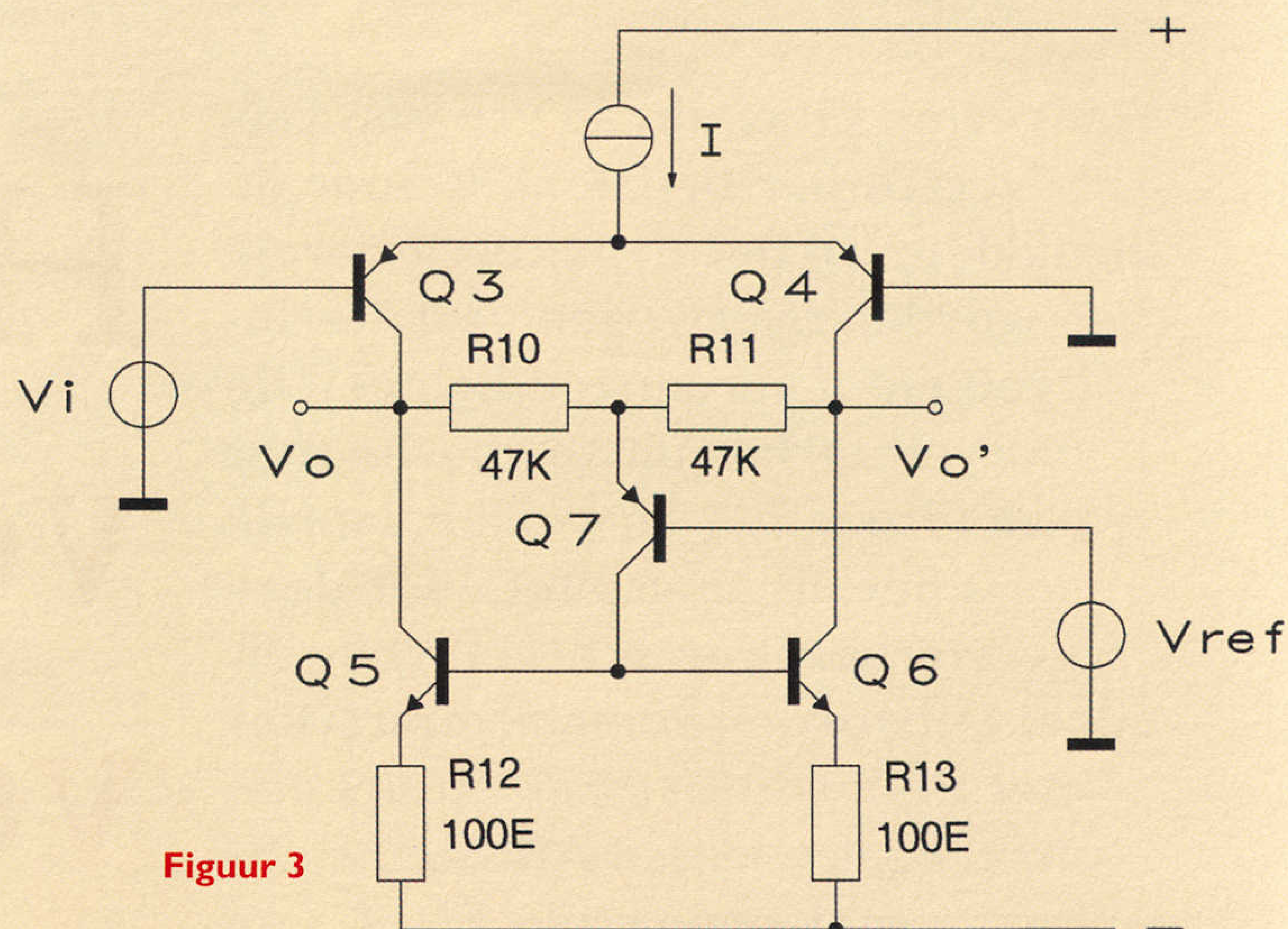
De waarde van de versterking (ca. 800) wordt in belangrijke mate door μ van Q3 en Q4 bepaald en in geringe



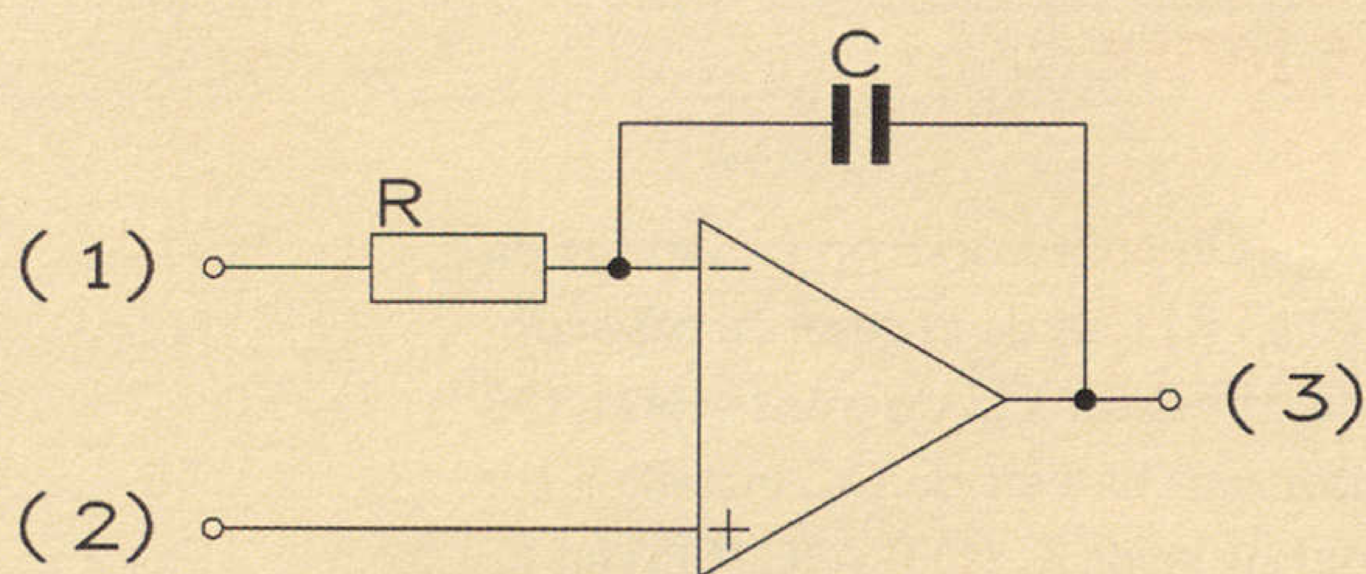
Figuur 1: Voorbeeld van een klassieke fasedraaier.
R_K = 68 KΩ, R_A = 100 KΩ, A = 25, THD = 1,8 % (V_o = 20 VAC)
Bron: " Hi-Fi versterkerschakelingen" E. Rodenhuis



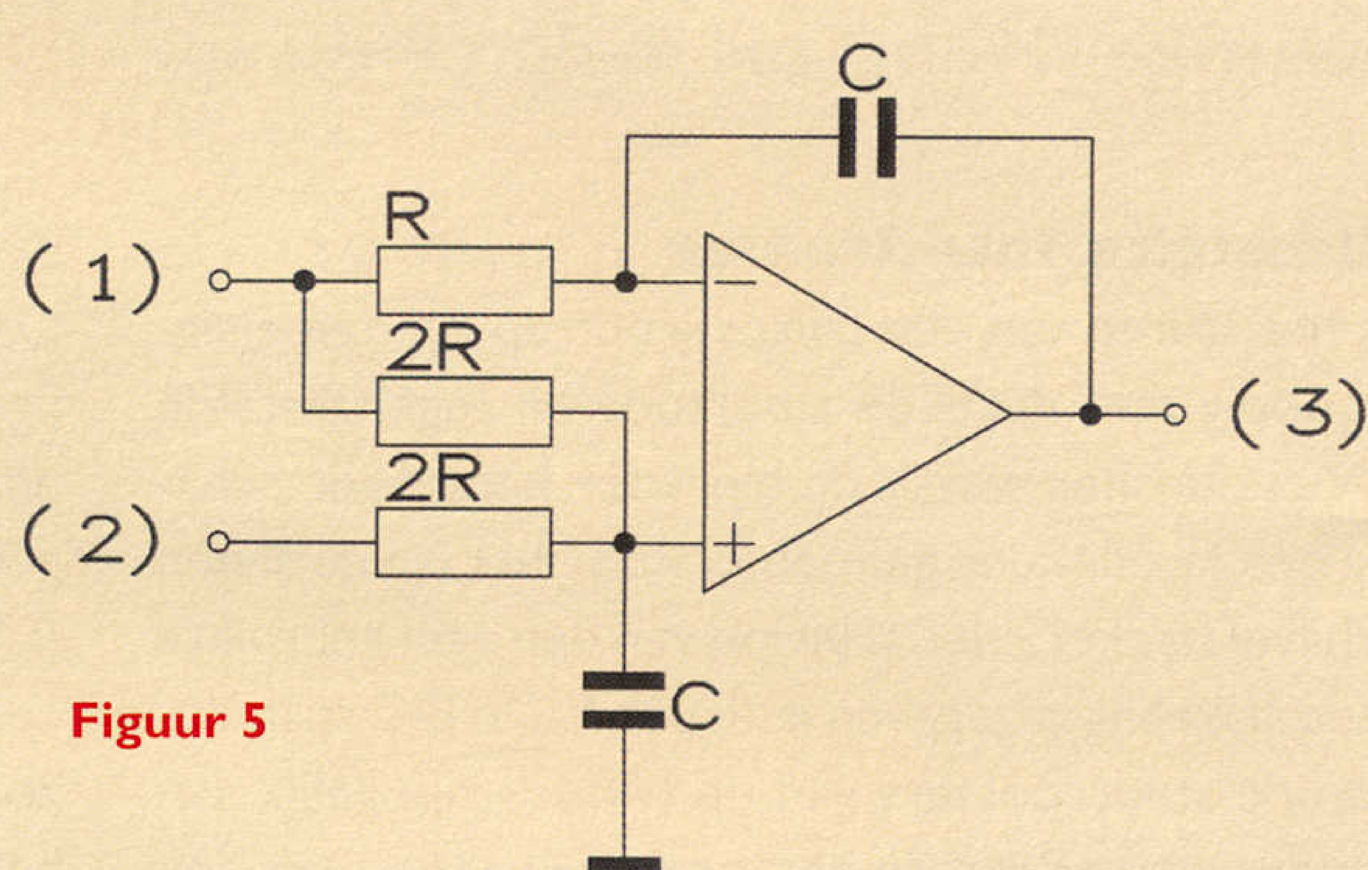
Figuur 2



Figuur 3



Figuur 4



Figuur 5

mate door R10 en R11 verminderd. Bij Q5 en Q6 is emitterdegeneratie toegepast om de uitgangsimpedantie en daarmee de versterking te vergroten. De distorsie bij 90% uitsturing is ca. 0,5 % en dus een factor 50 kleiner dan in de schakeling van figuur 2. Dit is het gevolg van de geringe stroommodulatie van Q3 en Q4. Voor R10 = R11 wordt niet alleen een gebalanceerd uitgangssignaal verkregen maar ook symmetrische clipping: Stel, dat bij volledige uitsturing Q3 in verzadiging gaat. Dan is Vo ca. 0 V. Dit veroorzaakt een stroom door R10 van ongeveer Vref / R10. Deze stroom vloeit ook grotendeels door R11 en veroorzaakt over R11 een spanning van Vref / R11. Daardoor is Vo' = 2 × Vref . Voorbeeld: Vref = – 35 V, de versterker loopt dan vast bij 0 V en – 70 V, ook al is VN = – 125 VDC. Dit symmetrische clipgedrag is gunstig voor een lage THD, vooral bij hoge frequenties.

Samenvattend kan worden gesteld dat de grote versterking, de geringe distorsie en de mogelijkheden betreffende DC koppeling en DC instelling de schakeling aantrekkelijk maakt voor het sturen van een balans eindtrap. Bovendien worden storingen door gloeidraadbrom en microfonie die hinderlijk kunnen zijn bij buizenvoorversterkers vermeden

Integratorschakeling

DC koppeling van een voorversterker met een grote versterking vergroot de DC offset problematiek en maakt een DC tegenkoppeling noodzakelijk. Om informatie te verkrijgen over de kathodestromen van de eindbuizen zijn kathodeweerstanden opgenomen. De weerstandswaarde is gedimensioneerd op een spanningsval van 400 mV bij 40 mA (10 Ω) Bij een dergelijke keus is de grootte van de spanning voldoende voor een nauwkeurige verwerking en is de vermindering van de steilheid van de eindbuis ten gevolge van stroomtegenkoppeling beperkt (ca. 10 %).

Uitgangspunt voor de DC tegenkoppeling is vanwege de grote DC versterking en de geringe DC offset een actieve integrator met een opamp, zie figuur 4. Voor de AC overdracht van (1) naar (3) met (2) aan massa geldt A(1) > (3) = – 1 / jωRC en voor de overdracht van (2) naar (3) met (1) aan massa geldt A (2) > (3) = 1 + 1 / jωRC. De factor 1 in de tweede vergelijking is voor de beoogde toepassing een bezwaar: de ingangssignalen van de integrator zijn door de klasse AB werking van de eindtrap vervormd en hebben bij grote uitsturing van de versterker min of meer de vorm van een enkelzijdig gelijk gericht signaal. Bij lage frequenties ontstaat naast DC ook AC tegenkoppeling. Indien voor signaal (1) een andere overdracht geldt dan voor (2) heeft dit distorsie tot gevolg. Door te kiezen voor grote waarden voor R en C (een grote tijdconstante) kan de overdracht bij lage frequenties worden verminderd maar de resultaten zijn door de reeds genoemde factor 1 nog steeds onvoldoende. Bovendien heeft een grote tijdconstante een belangrijk nadeel: de DC tegenkoppeling is ook actief indien de versterker wordt overstuurd en kan dan een correctiesignaal geven dat groter is dan bij normale

Figuur 6

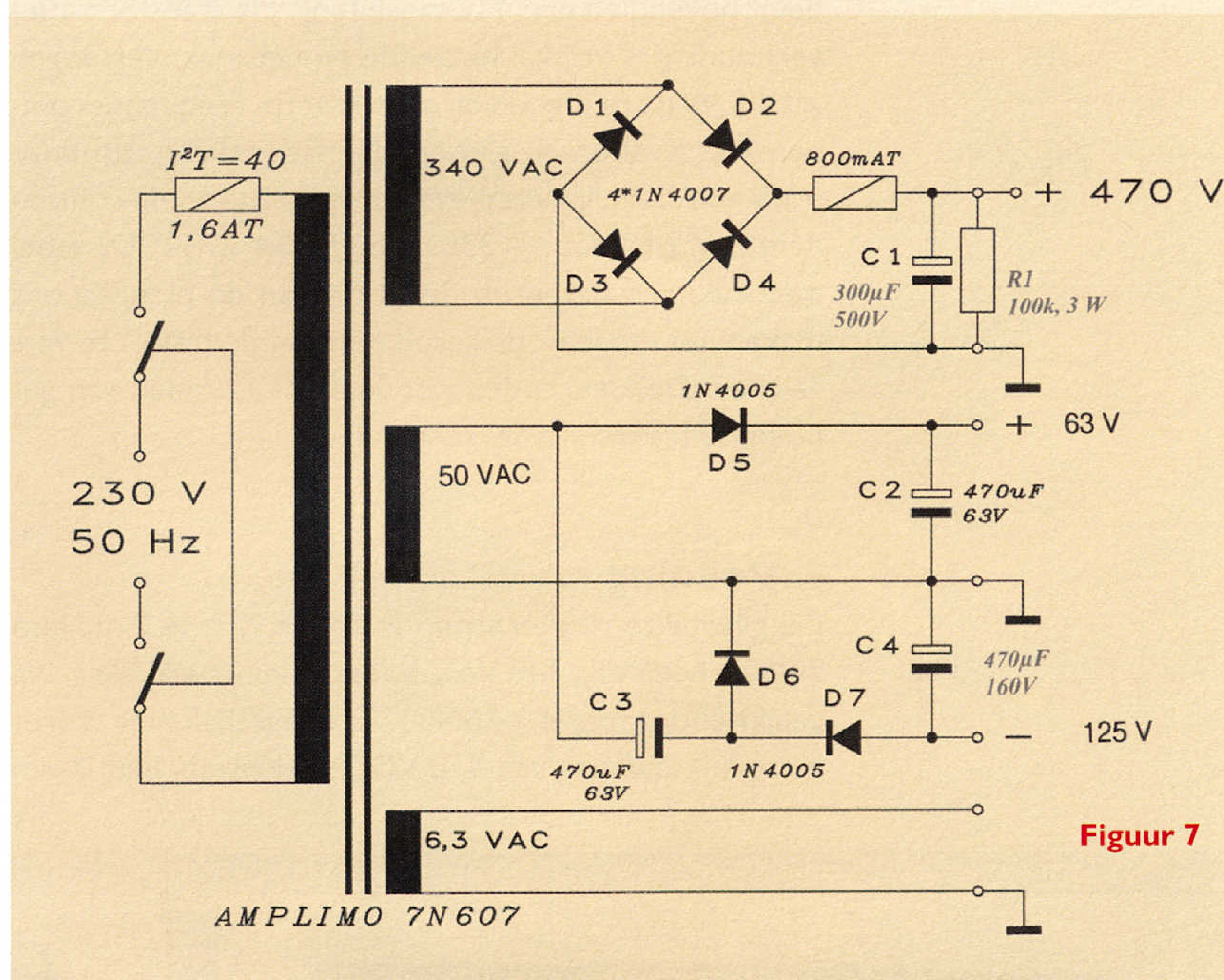
uitsturing. Dit heeft lange hersteltijden tot gevolg, zodat de versterker traag regelt naar een correcte DC balans.

Een alternatief is een integratorschakeling met een differentiële input, zie figuur 5. Door het toevoegen van 2 weerstanden met de waarde 2R en een condensator met de waarde C geldt voor de overdracht A(1) > (3) = – 1 / 2jωRC en voor A(2) > (3) = 1 / 2jωRC. De CMRR (Common Mode Rejection Ratio) levert een belangrijke bijdrage aan het onderdrukken van AC signalen zodat met gematigde waarden voor R (50 KΩ) en C (100 nF) goede resultaten worden verkregen.

Complete versterker

Uitgangspunt voor het ontwerp, zie figuur 6, is een UL uitgangstrap met 2 × EL34, een ringkerntrafo type VDV 3070PP en een voedingsspanning van 470 VDC. Met 8 Ω belasting is het maximale uitgangsvermogen ruim 40 Watt. De closed-loop versterking is vrijwel gelijk aan R27 / R24 = 100. Dit heeft een ingangsgevoeligheid van 170 mV tot gevolg. Als ingangstrap is de reeds beschreven verschilversterker toegepast. Hieraan zijn extra emittervolgers (Q1) en Q2) toegevoegd. Hierdoor wordt de ingangsimpedantie vergroot en de spanningsval over R3 die het gevolg is van de basisstroom van Q1 verkleind. Om de instelstroom van Q1 en Q2 niet te klein te laten worden (nadelig voor het HF gedrag) zijn R4 en R7 toegevoegd.

Voor verbetering van het dynamisch bereik en matching van de ingangstrap wordt emitterdegeneratie gebruikt (R5 en R6). In de spanningsdeler voor het instellen van de negatieve roosterspanning is de zenerdiode D3



Figuur 7

opgenomen om de ingestelde waarde minder afhankelijk voor variaties in de negatieve voedingsspanning. De zogenaamde roosterstop weerstanden R30 en R31 beperken het risico van parasitair oscilleren van de eindtrap maar zijn alleen effectief bij montage dicht bij de stuurrooster aansluitingen. De in het voorgaande beschreven integratorschakeling met differential input levert via het terugkoppelnetwerk een signaal aan de basis van Q2, de inverterende ingang. Bij hoge frequenties werkt de opamp minder goed, waardoor vervormde signalen en ruis aan de uitgang kunnen ontstaan. Om de invloed hiervan tegen te gaan is een extra laagdoorlaad-

filter (R26 en C3) opgenomen. De DC waarde van β, R24 / (R24 + R25 + R26), resulteert in een regelbereik op de basis van Q2 van ongeveer +/– 650 mV. Dit is ruim voldoende om de offset van de voorversterker en de eindtrap te compenseren. De voeding voor het laagspanningsgedeelte (+ 63 VDC en – 125 VDC) is met behulp van parallel stabilisatie (R28,D4 en R29,D5) geschikt gemaakt voor de opamp (+ 15 VDC respectievelijk –15 VDC).
Frequentiecompensatie is desgewenst mogelijk met Cp1 en Cp2 (dominante pool frequentiecompensatie). Indien als uitgangstrafo het type VDV 3070PP wordt gebruikt is deze frequentiecompensatie niet nodig en zou bovendien nadelig zijn voor de slewrate en de vermogensbandbreedte. Zonder frequentiecompensatie werd een opslingering van 2,2 dB bij 130 kHz gemeten. Met C10 = 4,7 pF wordt de opslingering geëlimineerd. De invloed hiervan op de bandbreedte van de versterker is nihil.

Alternatieve uitgangstrafo

De meetresultaten met de uitgangstrafo VDV 3070PP (bandbreedte, slewrate en blokrespons) zijn zeer goed, maar het is een dure trafo en heeft voor dit ontwerp een ruim max. vermogen van 70 Watt. Een veel goedkoper alternatief is de 3A524-UL (zie http://www.amplimo.nl). Deze trafo biedt met een HF – 3 dB frequentie van 33 kHz aantrekkelijke mogelijkheden en heeft bovendien een 4 Ω aansluiting. De transformatieverhouding is vrijwel hetzelfde en het max. vermogen van 40 Watt past goed bij dit ontwerp. Frequentiecompensatie is door de grotere HF fasedraaing van deze trafo noodzakelijk. Aanbevolen waarden van de componenten: Cp1 = Cp2 = 330 pF en C10 = 27 pF. De tabel met meetresultaten en de foto's van de blokrespons maken het mogelijk de resultaten van de trafo's te vergelijken. De kleurcodes van de aansluitdraden van genoemde trafo's zijn verschillend.

Voeding

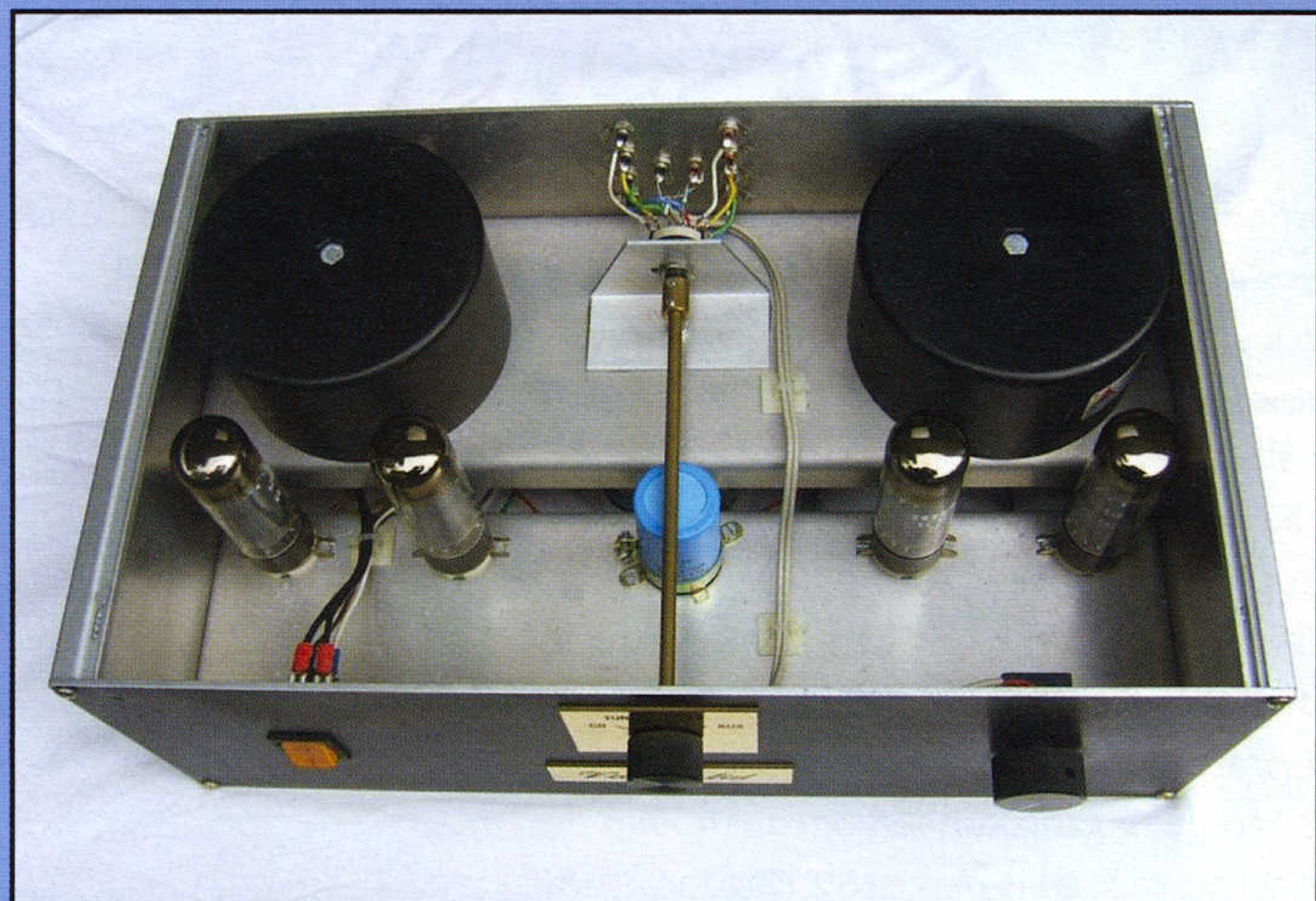
De gebruikte ringkerntrafo in figuur 7, type Amplimo 7N607, heeft een 340 VAC hoogspanningswikkeling. Na gelijkrichting met 4 x 1N4007 in brugschakeling wordt een gelijkspanning van 470 VDC verkregen. Het is van groot belang te bedenken dat deze spanning in combinatie met de stroom die trafo kan leveren bij aanraking dodelijk kan zijn! Een extra risico ontstaat wanneer de versterker kortstondig ingeschakeld is geweest. De kathodes van de eindbuizen zijn dan niet voldoende op temperatuur waardoor er geen of te weinig stroom door de buizen loopt om de hoogspanningselco voldoende te ontladen. Om het laatstgenoemde risico te beperken is R1 = 100 kΩ, 3 Watt, opgenomen. De voedingsspanningen voor de voorversterker worden d.m.v. enkelzijdige gelijkrichting voor + 63 VDC en een spanningsverdubbelaar voor – 125 VDC uit de 50 VAC wikkeling verkregen. In verband met enkelzijdige gelijkrichting zijn relatief grote condensatoren toegepast. Om de kathode – gloeidraad isolatie tegen doorslag t.g.v. elektrostatische lading te beschermen is de gloeidraadwikkeling enkelzijdig met massa verbonden. Metingen hebben aangetoond dat het verbinden van de gloeidraadaansluitingen met 2 gelijke weerstanden met massa (het aarden van het "elektrisch midden") in deze versterker dezelfde meetresultaten laat zien. In beide gevallen is de gloeidraadbrom te verwaarlozen.

Realisatie

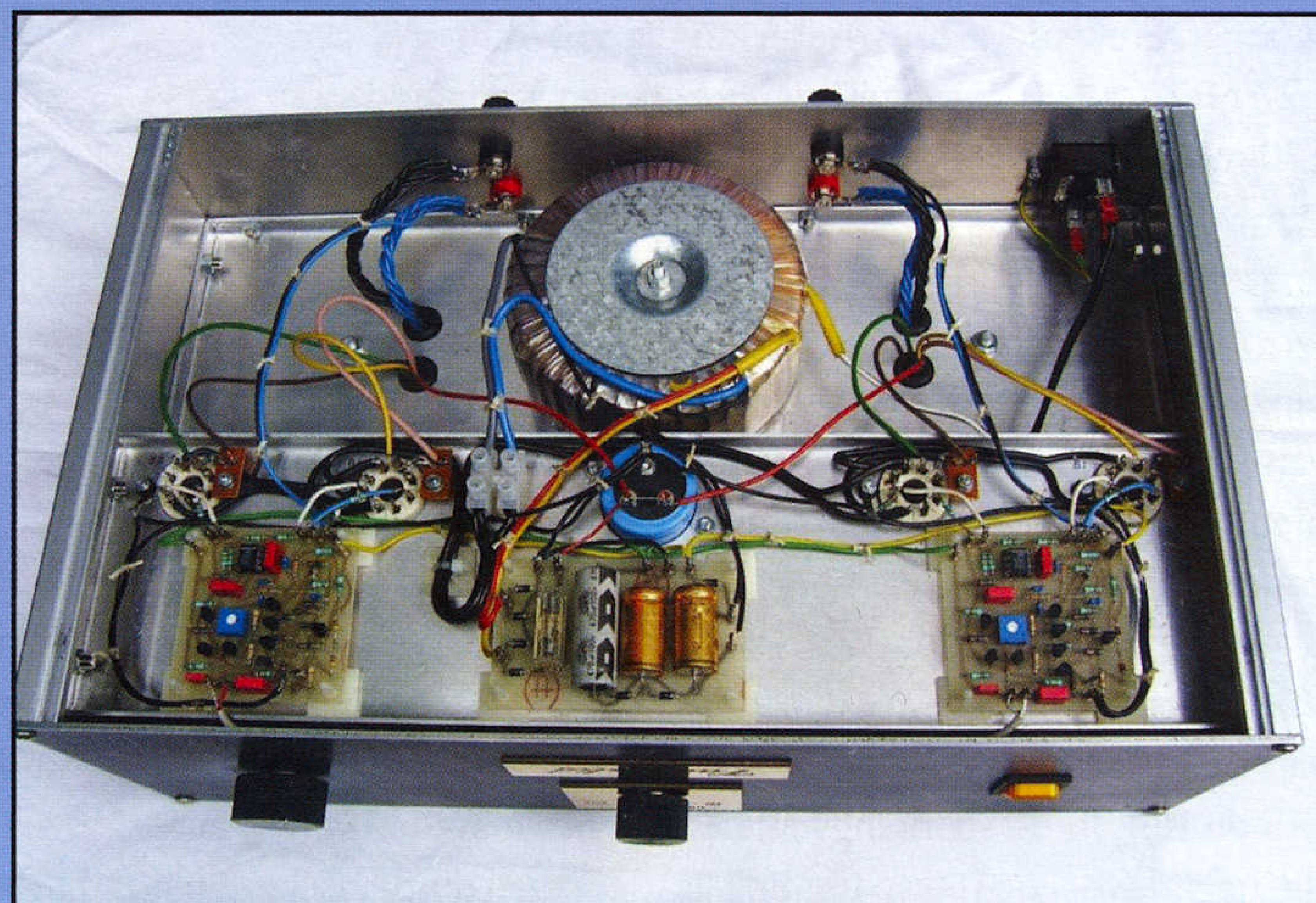
In figuur 8 en figuur 9 zijn foto's te zien van de bovenzijde en onderzijde van de versterker zonder geperforeerde boven- en onderwand. De 3 trafo's zijn op een 2 mm dik chassis bevestigd. In verband met het grote gewicht van de trafo's (In dit geval is de uitgangstrafo type VDV 3070PP toegepast) zijn de randen omgezet. Een lange zijde is bevestigd op de achterwand en de twee korte zijden op de zijwanden. Op het tweede chassis, bevestigd op de zijwanden, zijn de buisvoeten, prints en de hoogspanningselco gemonteerd. De ingangskeuzeschakelaar is dicht bij de ingangspluggen gemonteerd. De aansluitdraden zijn dan zo kort dat afscherming niet nodig is.

Meetresultaten

Het regelbereik van de kathodestroom is 10 – 90 mA. Gekozen is voor 40 mA. Bij deze instelling is de negatieve roosterspanning ongeveer – 35 V. De schermrooster-dissipatie is 470 V x 5 mA = 2,35 W. (max. toelaat-



Figuur 8

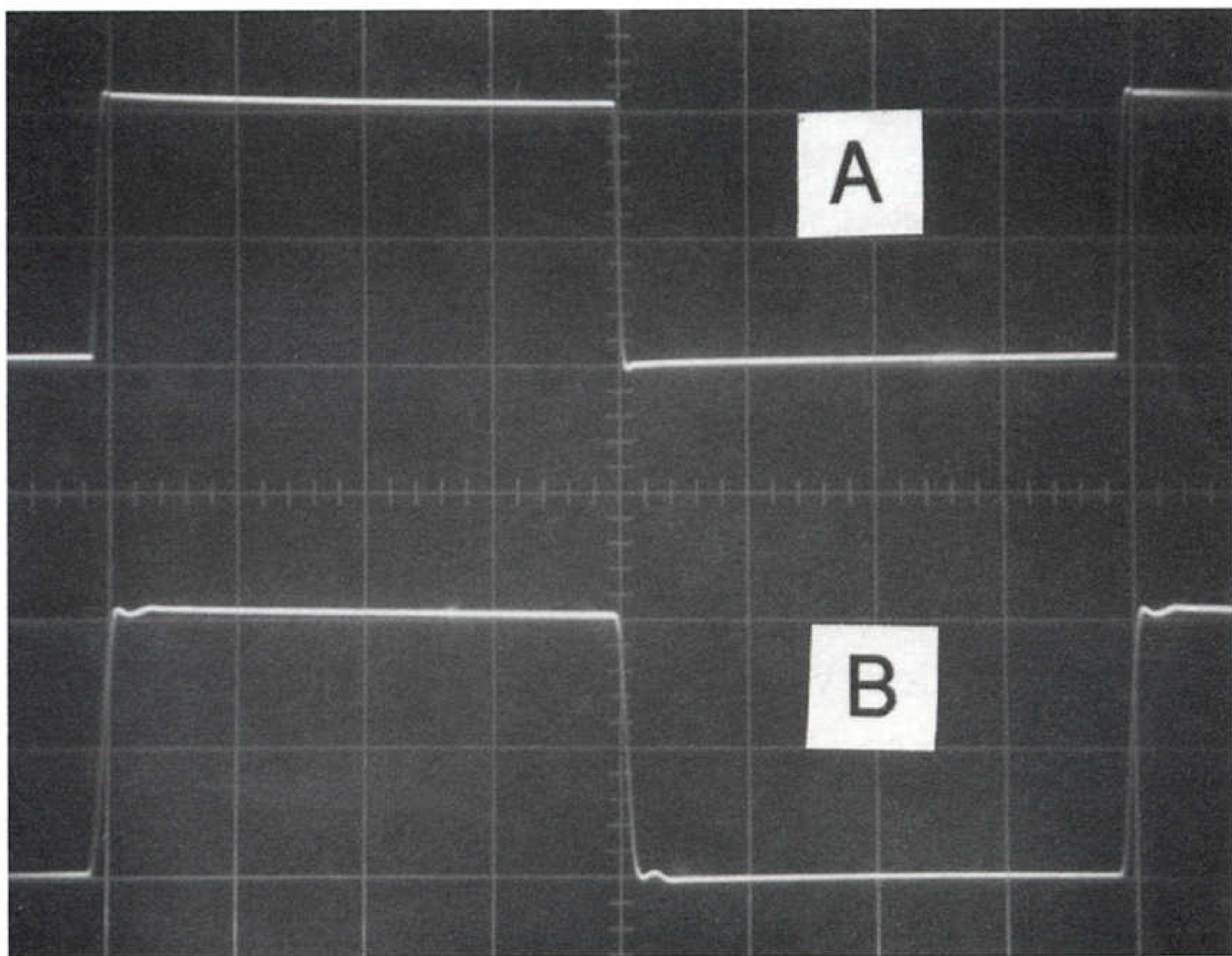


Figuur 9

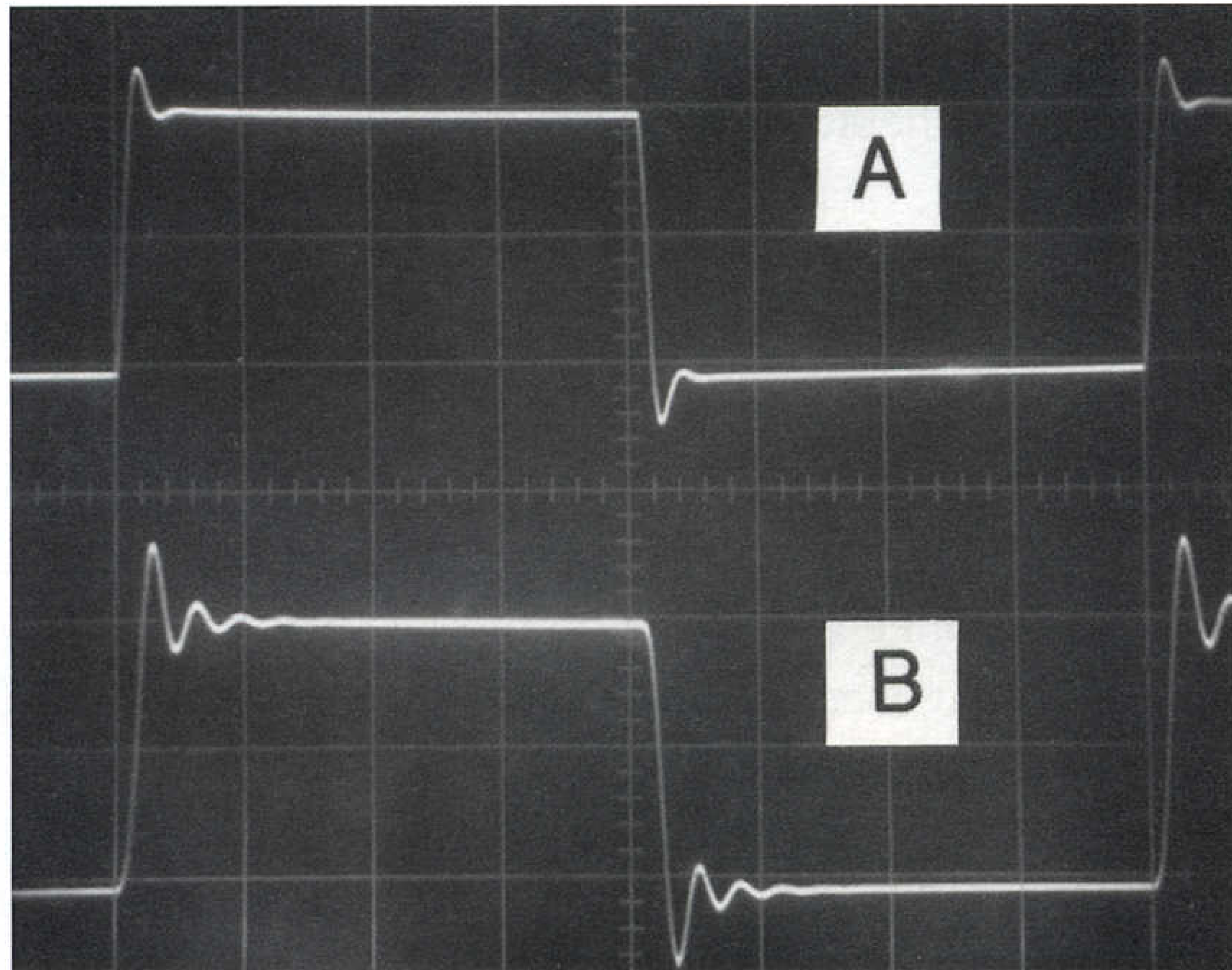
baar 8 W) en de anode-dissipatie bedraagt 470 V x 40 mA = 18,8 W. (max. toelaatbaar 25 W) De meetresultaten zijn voor beide uitgangstrafo's gegeven in bovenstaande tabel.
Figuur 10 is de blokrespons te zien voor de 2 typen uitgangstrafo's bij 8Ω belasting en Figuur 11 toont de blokrespons bij een belasting van 8 Ω // 1 μF.

Conclusies

Met slechts twee trappen is een hybride versterker gerealiseerd met maximale eigenschappen bij gebruik van de uitgangstrafo VDV 3070PP en met optimale eigenschappen (goede specificaties voor een gematigde kostprijs) bij gebruik van de uitgangtrafo 3A524-UL. Door gebruik te maken van een integratorschakeling met differentiële input is de DC balans in de eindtrap zeer goed en voldoet daarmee aan de eisen die volgen uit het onderzoek van Ir. Menno van de Veen betreffende de weergave van microdetails. Bij gebruik van de trafo VDV 3070PP is de bandbreedte ruim voldoende voor weergave van de Super Audio Compact Disk (100 KHz) en Digital Versatile Disk audio (96 KHz). Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat frequenties boven het hoorbare frequentiegebied door de hersenen worden waargenomen en dat het dus zinvol is bij specificaties hiermee rekening te houden. Literatuur: "Inaudible High-Frequency Sounds Affect Brain Activity: Hypersonic Effect" 2000 The American Physiological Society.



Figuur 10



Figuur 11

Type uitgangstrafo	VDV 3070PP	3A524-UL
Instelling kathodestroom	40 mA	40 mA

DC offset kathodestromen	< 0.25 mA	< 0,25 mA
Tegenkoppelfactor	5,6 (15 dB)	5 (14 dB)
Uitgangsimpedantie	0,9 Ω	1 Ω
Ingangsspanning, 40 W, 8Ω	180 mV	190 mV
THD, 40 W, 8Ω	0,9 % (100 Hz)	1 % (100 Hz)
	0,4 % (1 KHz)	0,5 % (1 KHz)
	1,1 % (10 kHz)	1,3 % (10 KHz)
	2,9 % (100 KHz)	
Bandbreedte (– 3 dB), 1 W, 8Ω	10 Hz – 170 KHz	10 Hz – 55 KHz
LF grensfrequentie, 40 W, 8Ω	34 Hz	45 Hz
Brom + ruis	< 1 mV	< 1 mV
Slewrate	15 V / μsec	6 V / μsec

Componenten versterker

B1, B2 = EL34
Uitgangstrafo = VDV 3070PP of 3A524-UL
Q1 t/m Q4 = BF423
Q5, Q6 = BF 422
D1,D2 = 1N4148
D3 = Zenerdiode 30 V 400 mW
D4,D5 = Zenerdiode 15 V 400 mW
Opamp = μA 741
R1 = potm. 2 x 10kΩ log.
R15 Trimming potm. Bourns, serie 3386, 10K
Alle weerstanden metaalfilm, 0,6 W, +/– 1%
R2, R24, R30, R31, R32 = 1 K
R3, R16, R17, R18, R19, R27 = 100 K
R4, R7, R25, R26 = 10 K
R5, R6, R20, R21 = 10 Ω
R8, R12, R13 = 100 Ω
R9, R10, R11 = 47 K
R14 = 27 K
R22, R23 = 390 Ω
R28 = 6,8 K
R29 = 18 K
C1 = 330 nF, folie
C2 = 100 pF, keramisch
C3, C6, C7, C8 = 100 nF, keramisch, multilayer
C4, C5, 100 nF, folie
C9 = 100 nF, 250 V, folie
C10 = 4,7 pF, keramisch
Cp1, Cp2 : zie tekst

Componenten voeding

Voedingstrafo = 7N607
D1, D2, D3, D4 = 1N4007
D5, D6, D7 = 1N4005
R1 = 100 K, 3 W
C1 = 300 μF, 500 V
C2, C3 = 470 μF, 63 V
C4 = 470 μF, 160 V
Zekeringen: 1,6 AT (I2T = 40) en 800 mAT

Uitgangstrafo's, voedingstrafo, speciale zekeringen, hoogspanningselco's, buizen type EL 34, buisvoeten en prints zijn verkrijgbaar bij de firma Amplimo

Gitaar versterken is klank maken, van warm tot ruig overstuurd, van diep emotioneel tot doordringend. De gitaarversterker van Willem van Thes is een muziekinstrument op zich. Alles is instelbaar, ieder facet van de klankopbouw kan beïnvloed worden. De buizenversterker bezit twee kanalen die elk een compleet eigen modelleerbaar karakter hebben.



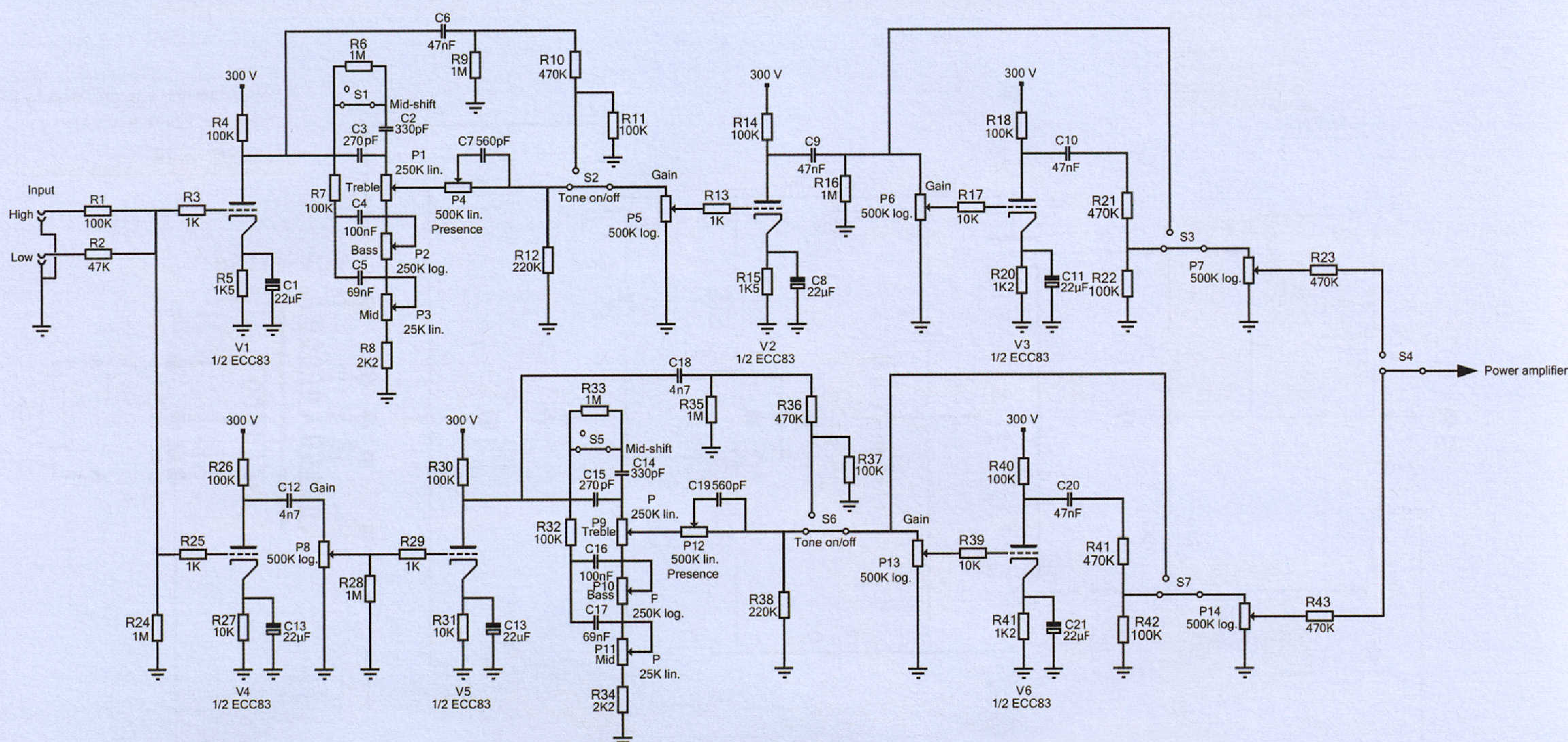
DOOR WILLEM VAN THES

The Crownstone Tubecharger Gitaarversterker

Als student van TubeSociety[1] had ik eindelijk de gelegenheid om veel over buizenversterkers te leren. Daarvoor wist ik niks van elektronica, laat staan dat ik zelf een versterker zou kunnen ontwerpen. Nu werd dit anders, vooral toen Menno mij uitnodigde om zelf eens achter de ontwerptafel te gaan zitten en mijn verbeelding de vrije loop te laten. Ik ben een liefhebber van buizensound en speel veel gitaar. Deze heb ik overigens in een speciale stemming staan, niet van E tot E maar van C tot C. De snaren zijn daardoor slapper wat het spelen makkelijker maakt en opduwen van de snaren geeft steviger modulaties dan in de standaard stemming. Mijn gitaar is een klankinstrument en ik wist op voorhand zeker dat mijn versterker net zo'n klankinstrument moest worden. Zo ontstond de volgende lijst van eisen en wensen. De versterker moet twee kanalen hebben, elk met een uitgebreide toonregeling die ook overbrugd kan worden. Beide kanalen moeten instelbaar zijn van clean tot overstuurd geluid, waarbij het klankkarakter per kanaal verschilt. De structuur van de klankvorming en vervorming moet helder zijn en overzichtelijk te bedienen, zodat je ook bij live optredens gericht snel van klank kunt wisselen. Vooral het voorversterkerdeel moet klankvormend zijn, maar ook de eindtrap moet die mogelijkheid bieden. Van puur dynamisch (pentode balans) tot strakke puurheid (triode balans). Als de eindversterker overstuurd wordt moet hij toch goed blijven klinken, en hierin munten buizen eindversterkers uit. Qua vormgeving moet het een zogenaamde "top" worden die met losse speaker kasten kan worden gecombineerd. Omdat de versterker in eerste instantie een experimenteel karakter heeft, moeten de verschillende delen met behulp van kroonsteentjes gemakkelijk aan elkaar kunnen worden gekoppeld. Dit verklaart het eerste deel van de versterkernaam "Crownstone".

Ontwerpfasen

Het oorspronkelijke plan was om een VV te bouwen bestaande uit vier buishelften (2 x ECC83) verdeeld over twee kanalen die onderling combineerbaar moesten zijn. Het werkte wel, maar had toch een paar nadelen. Het schone kanaal klonk open en bij maximaal volume was er net een randje goed bruikbare vervorming. Het vervormende kanaal gebruikte drie buishelften, de eerste buishelft van het schone kanaal werd ook



Figuur 1: Definitieve versie van de twee kanaal voorversterker (Merk op: bij C1,8,11,13,13,21 is de zwarte bovenkant bedoeld als pluskant)

hier gebruikt. Het klonk dun en kon niet goed met het schone kanaal worden gecombineerd vanwege een faseverschil tussen de twee kanalen. De nadelen van dit ontwerp waren te groot en daarom ben ik in het definitieve ontwerp overgestapt op 3 x ECC83, met nu drie buishelften per kanaal. Zie figuur 1 voor de details.

Verschillende kanalen

De voorversterker bestaat uit twee kanalen. Het eerste kanaal betreft de buishelften V1,2,3 waarbij de buizen zo lineair mogelijk staan ingesteld. Dit is te herkennen aan een kathodeweerstand van 1k2 of 1k5 en een anodeweerstand van 100kOhm. Hier hebben we dus met het cleane kanaal te maken.

Bij het tweede kanaal, V4,5,6 zijn vooral V4 en V5 drastisch scheef ingesteld met hun kathodeweerstand van 10kOhm, wat een fraai vervormd geluid oplevert. In muzikantentaal wordt dit met "crunchy" omschreven. Beide kanalen hebben de laatste trap schakelbaar, zie de schakelaars S3 en S7. Beide kanalen kunnen daardoor schoon en overstuurd klinken. Met ingeschakelde derde trap is er sprake van een fikse oversturing en bijbehorende vervorming. Deze stand is uitermate geschikt voor soleren en/of bij het spelen van brute powerchords. Wordt de derde trap niet gebruikt, dan is het klankkarakter milder en schoner.

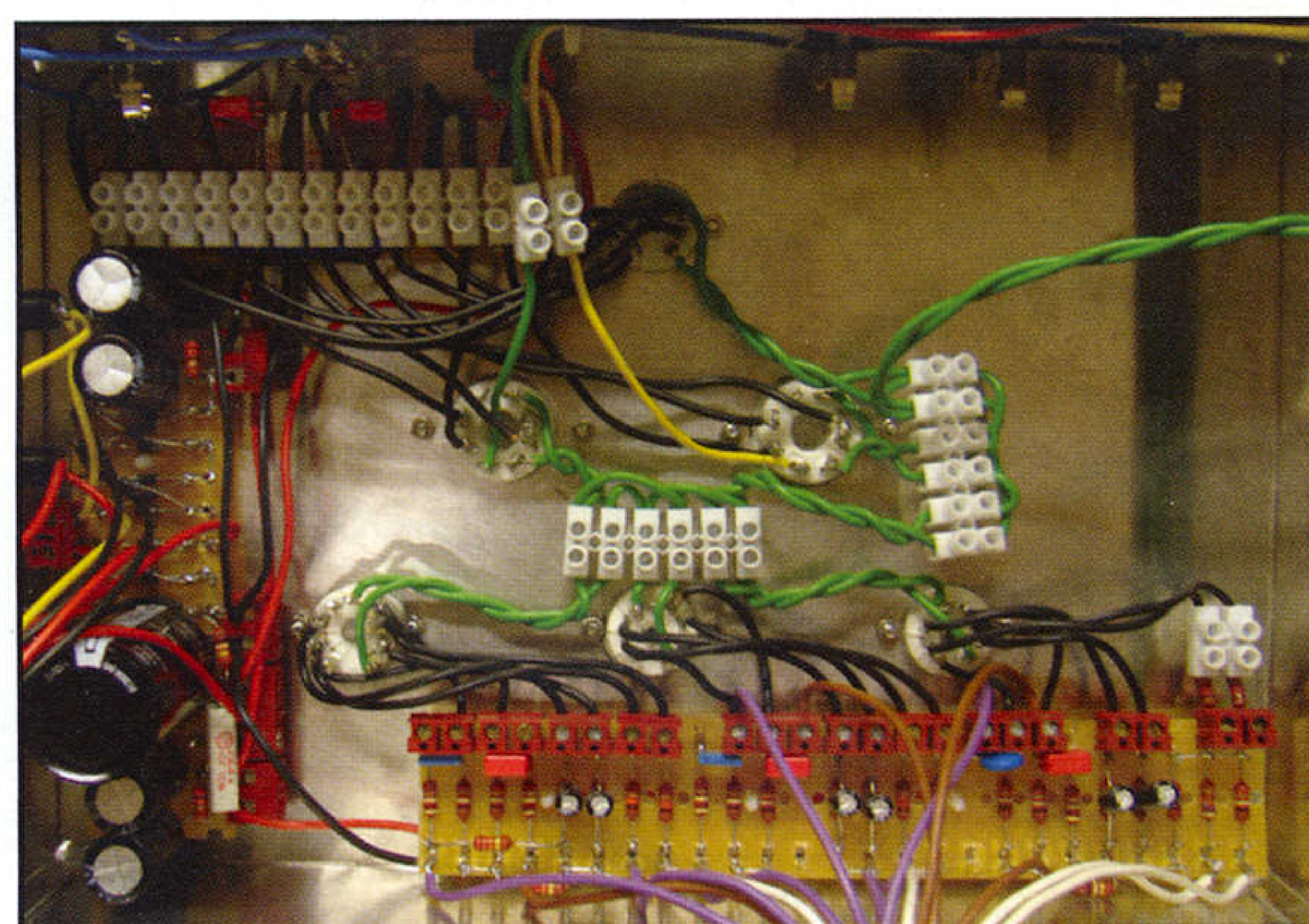
Toonregeling

Een belangrijke voorwaarde is dat de toonregeling per kanaal bediend én uitgeschakeld moet kunnen worden. Dat laatste zodat enkel het pure onbewerkte gitaarsound wordt versterkt. Dit is natuurlijk relatief, aangezien er nog wel een koppelcondensator bij elke anode overheen staat die als filter dienst doet om de lage tonen tot een bepaald punt door te laten of tegen te houden. Maar verder is het de bedoeling dat de mogelijkheid bestaat om het gitaargeluid zo puur en onbewerkt mogelijk te kunnen versterken. Immers de gitaar zelf heeft ook nog diverse schakelstanden om van element te switchen en knoppen om de toon te beïnvloeden.

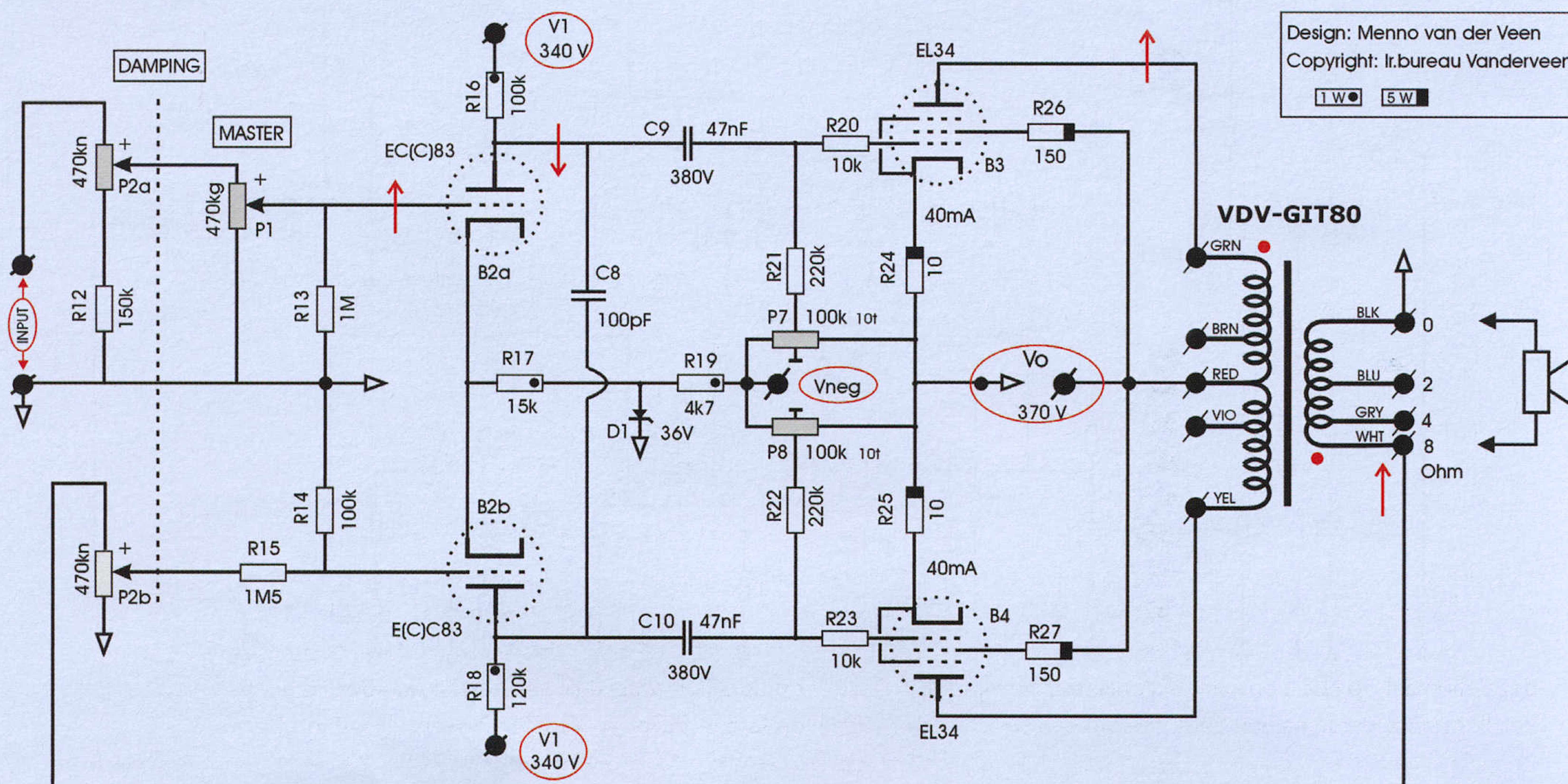
Tegelijkertijd wilde ik met deze versterker juist dat er óók een uitgebreide toonregeling aan boord zat. Daarom beschikt deze versterker over een uitgebreide toonregeling én dus de extra schakelaar om de toonregeling helemaal uit te zetten. Je moet immers als gebruiker wat te kiezen kunnen hebben,

Elke toonregeling bestaat uit vier potmeters en een schakelaar. De potmeters zijn bedoeld voor het bedienen van de lage en hoge en middentonen en het regelen van de presence (extra helderheid). De schakelaars S1 en S5 zijn bedoeld om de middentonen een boost te kunnen geven.

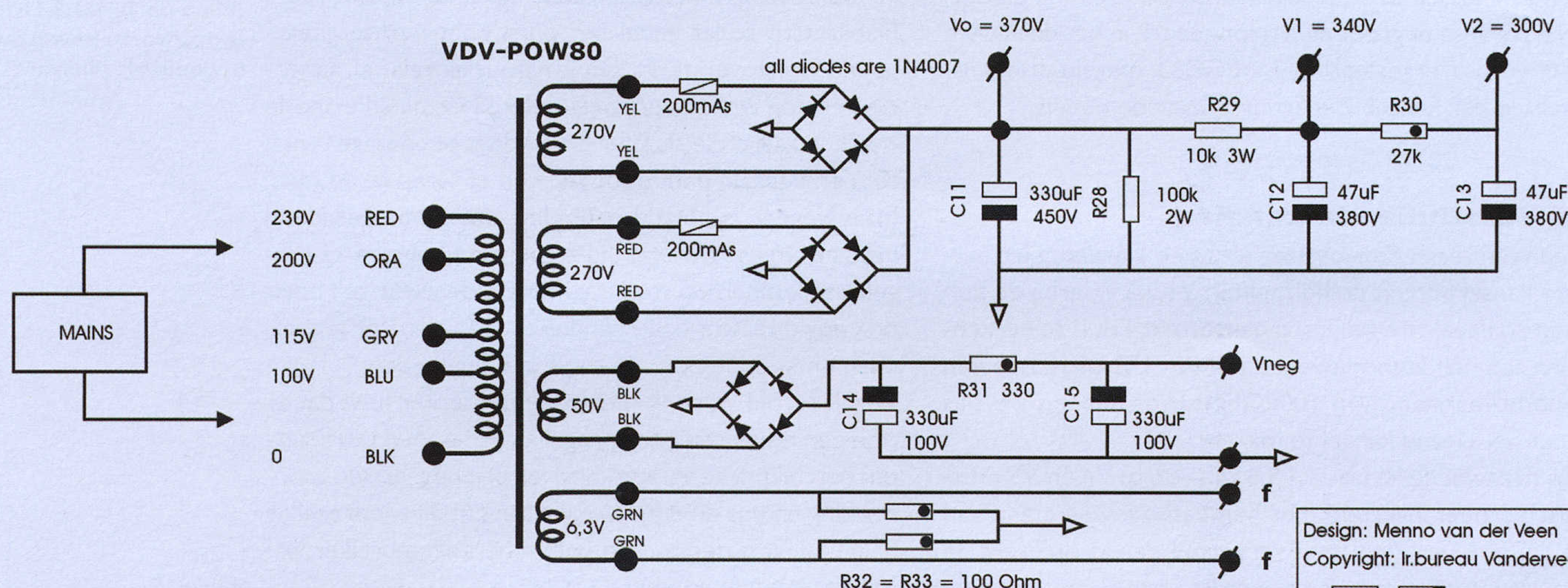
De koppelcondensatoren C12 en C18 hebben ook veel invloed op de klank. Met hun geringe capaciteit van 4n7







Figuur 2: Schema eindversterker



Figuur 3: Schema voeding.

verkrijg ik meer definitie in het laag, het overstuurde geluidsbeeld wordt doorzichtig en niet modderig.
Om verder nog wat onderscheid in de kanalen te creëren zit bij het eerste kanaal de toonregeling na de eerste trap en bij het tweede kanaal de toonregeling na de tweede trap.

Gain

Vanwege de schakelbare derde trappen wilde ik ook extra gain regelaars hebben om die trappen te kunnen inregelen, om regelbaar te oversturen. Zie de potentiometers P6 en P13. Hiermee kunnen verschillende gradaties van oversturen ingesteld worden, van clean tot maximaal overstuurd en alles daar tussenin, zoals clean met een randje, of een meer crunchy geluid. De versterking door de derde trap is daarbij zo groot dat de versterker begon te gillen door interne koppeling tussen de verschillende trappen. Daarom heb ik na de derde trap het signaal verzwakt, zie R21,22 en R41,42, waarmee het intern rondzingen verdween.

Eindversterker

Figuur 2 toont het schema van de eindversterker en figuur 3 het schema van de bijbehorende voeding, die ook de voorversterker voedt.

De eindversterker is gebaseerd op een ontwerp van Menno van der Veen[2]. Niet getekend is de mogelijkheid om de schermroosters met een schakelaar te koppelen aan de hoogspanning of aan hun eigen anodes. Zo kun je schakelen tussen pentode (dynamisch) en triode (schoon). Ik heb deze schakelaar op de achterkant van de kast geplaatst. Je zult hem niet zo vaak bedienen en logistiek paste het ook beter.
De regelaar voor de tegenkoppeling (= dempingsfactor) heb ik ook op de achterkant van de kast geplaatst. Je





stelt hem eenmaal op optimaal klinken in en mijn ervaring is dat je daarna niet zoveel meer wijzigt.
Mijn medestudent Bart van Geyt heeft nog meer elektronische vindingen van Van der Veen overgenomen en deze allemaal op het frontpaneel geplaatst, zie zijn artikel. Ik merkte dat je na een bepaalde tijd een soort optimale instelling vindt en die dan nauwelijks wijzigt. Dan heb ik liever een overzichtelijk frontpaneel met wat minder knoppen. Je zult toch live optreden en aan de foute knop draaien!

Over de bouw

Toen ik begon met de TubeSociety cursus wist ik nog niet eens hoe een buis of een weerstand of een condensator er uit zien, ik was totaal blanco. Nu na een half jaar cursus heb ik al een eigen ontwerp gemaakt en soldeer ik er fiks op los. Maar hoe je goed en betrouwbaar bouwt moest ik door schade en schande nog helemaal leren. Van het eerste ontwerp (2 x ECC83 versie) had ik al een aantal versies gemaakt en kwam er achter dat het snel een onoverzichtelijke dradenboel werd. Dat moest anders! Daarom besloot ik om er deze keer een overzichtelijk geheel van te maken. Van te voren moest helemaal worden uitgedacht waar elk onderdeeltje zou komen. Er moest een systeem in zitten waarbij voor het geoefende oog vrij snel duidelijk zou worden waar zich wat bevindt in de behuizing. Ook wilde ik zo min mogelijk montagedraad gebruiken, want door de afstanden zo klein mogelijk te houden blijft het overzichtelijk. Dit betekent ook dat ik de boel compact kon houden. De meeste elektronica bevindt zich daarom in een behuizing van slechts 30 bij 20 bij 8 cm. De trafo's bevinden zich buiten aan weerszijden van deze behuizing. De voorversterker en eindversterker zijn zo opgezet dat de verbindingen naar de buisvoeten zo kort mogelijk zijn. Om de overzichtelijkheid nog meer te bevorderen leek mij het gebruik van kroonsteentjes erg handig, in ieder geval zolang de versterker zich nog in de experimenteerfase bevond. Je kunt dan alles nog gemakkelijk loshalen en wijzigen. Het werden er steeds meer, de kroonsteentjes kregen een prominente rol. Toen ik op zoek ging naar een geschikte naam voor de versterker vond ik dat de kroonsteentjes daarin terug moesten komen. Vrij vertaald naar het Engels, met de nadruk op 'vrij', luidt de naam: "Crownstone" met als toevoeging "Tubecharger". Dit laatste deel is gebaseerd op één van mijn favoriete autotypen: de "Dodge Charger".

Uiterlijke kenmerken

De overzichtelijkheid in mijn versterker wilde ik ook terug laten keren in de buitenkant van de versterker. Daarom heb ik het bedieningspaneel zo ontworpen dat direct duidelijk is wat deze versterker aan boord heeft. Daarom staan de twee kanalen boven elkaar in plaats van naast elkaar.
Om het aflezen van de knoppen snel en makkelijk te kunnen zien, heb ik niet gekozen voor ronde knoppen, maar voor zogeheten "Chickenheads". De "snavel" van deze knop geeft een goede indicatie van de stand van de potmeters, terwijl dit met ronde knoppen vaak moeilijker of zelfs helemaal niet is te zien.
Qua look heb ik gekozen voor een 'retro-look' of 'vintagelook', waarbij ik me min of meer heb laten inspireren door Amerikaanse en Engelse klassieke oldtimers. Dus met veel gebruik van chroom/zilverkleurige elementen.

Verwijzingen en Literatuur

1) www.mennovanderveen.nl, sectie <tubesociety>
2) Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2", hoofdstuk 10
3) Opmerkingen en vragen: Crownstonetubecharger@gmail.com



100% Audio

Verplichte kost voor audio-liefhebbers



Kijk voor meer informatie en de inhoudsopgave op www.elektor.nl/boeken

Van SRPP, Mu-follower tot OTL

Buizenversterker Schakelingen

Buizenversterkers geven vervorming. Gelukkig bestaan er SRPP-versterkers, mu-followers, beta-followers enz. Deze produceren een minimale vervorming, zelfs bij uitgangssignalen van 50 of 100 Vt. In het eerste deel van dit boek onderzoeken we de herkomst van vervorming en daarna de algemene opbouw van een SRPP en een mu-follower. Verder is er aandacht voor o.a. push-pull-eindtrappen, OTL'en, frequentiekarakteristieken en technische zaken als voedingsspanningen en de wat gecompliceerde gloeidraadschakeling. Om de zaak aanschouwelijk te maken, bevat het boek enkele ontwerpen waarin de diverse besproken schakelingen zijn uitgewerkt.

336 pagina's • ISBN 978-90-5381-243-3 • € 44,50



Meer dan 800 pagina's

Fundamentele versterkertechniek

Na de inleiding volgt een hoofdstuk over de grondbeginselen van elektronen-emissie. Daarna komen diode, triode, tetrode en penthode aan bod. Vervolgens kijkt de auteur naar de grenzen van audiofrequenties en legt hij uit hoe het zit met niet lineaire vervorming en ruis. Als laatste komen tegenkoppeling en het bouwen van elektronenbuizen-versterkers aan de orde. Veel theorie wordt getoetst aan de praktijk en ontwerpmethodieken geven de lezer een kapstok om zelf aan de slag te gaan als ontwerper en bouwer van elektronen-buizenversterkers.

805 pagina's • ISBN 978-90-5381-226-6 • € 89,00



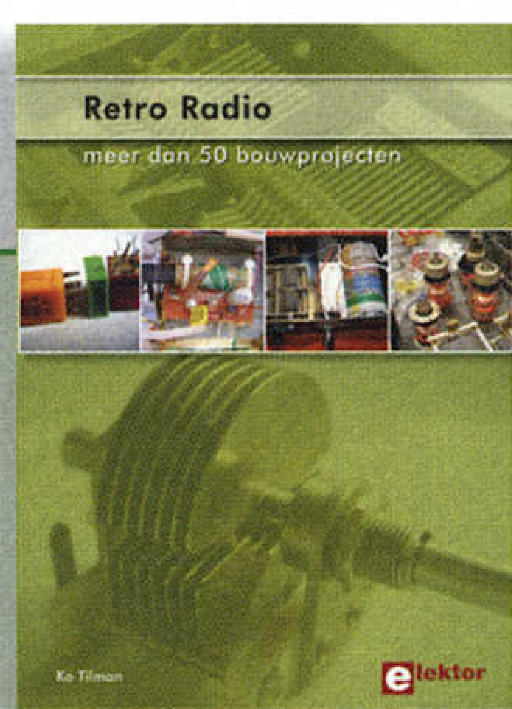
Nieuwe modelvorming en toepassingen

High-End Buizenversterkers 2

In dit boek gaat auteur Menno van der Veen via een systematisch theoretisch onderzoek na waar de fraaie eigenschappen van buizenversterkers vandaan komen. Hij presenteert nieuwe theorieën en oplossingen voor een perfecte audiokwaliteit met buizenversterkers. Het boek bevat verder toepassingsvoorbeelden, wetenswaardigheden rondom buizenversterkers, vele schema's en nieuwe ontwerpen van buizen-voor-en eindversterkers.

416 pagina's • ISBN 978-90-5381-204-4 • € 44,50

Prijswijzigingen en drukfouten voorbehouden

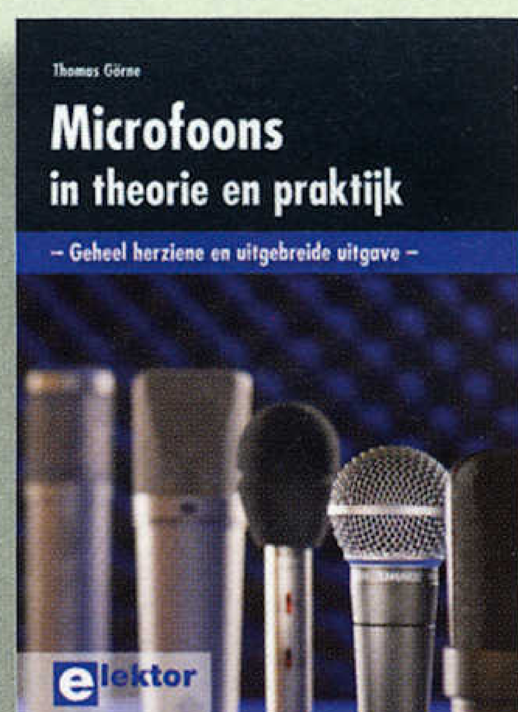


Meer dan 50 bouwprojecten

Retro Radio

Een boek voor iedereen die een radio zou willen bouwen en meer wil weten over radiotechniek. Na een inleiding in de beginselen van de techniek en de radio ontvangst op de korte golf worden een aantal eenvoudige radio ontwerpen beschreven. Het "retro" karakter dankt het boek aan het feit dat de gepubliceerde schakelingen klassiekers zijn uit de analoge radiotechniek en dat al het "overbodige" uit de schakelingen is weggelaten. De auteur grijpt terug op de radio in zijn meest elementaire vorm.

208 pagina's • ISBN 978-90-5381-234-1 • € 29,95

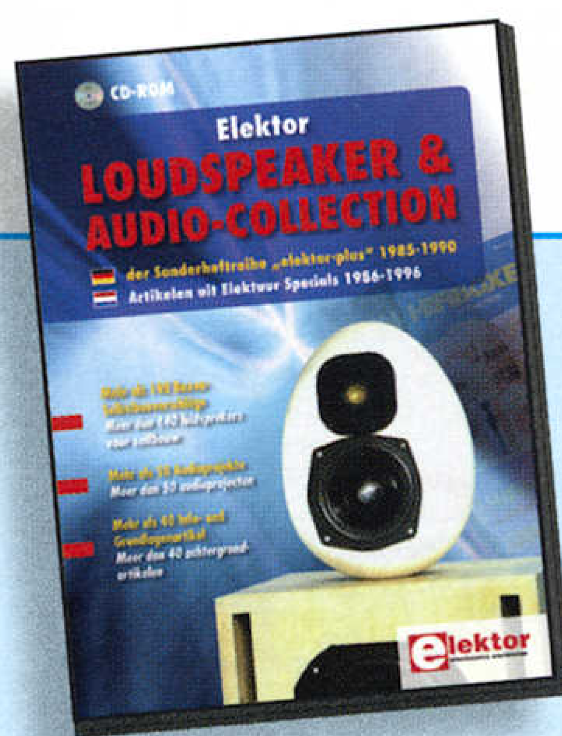


Test… 1,2,3… test

Microfoons in theorie en praktijk

Dit boek begint met een inleiding in de geluids- en microfoontechniek. De werking en aansluittechniek, én zaken als stereo- en surround-opnamemethoden komen aan bod. Daarna gaat auteur Thomas Görne in op het gebruik van microfoons in de praktijk. Naast tips voor de keuze van de juiste microfoon en een uitgebreide bespreking van typische problemen bij de opstelling van microfoons, wordt ook het gebruik van microfoons in de studio, op het podium en bij filmopnamen behandeld. De uitgebreide index en de vele nuttige tips maken het boek tot een praktijkgericht naslagwerk.

336 pagina's • ISBN 978-90-5381-230-3 • € 34,50



23 Audio Specials uit het Elektor archief

CD-ROM Loudspeaker & Audio Collection

De Elektuur Luidspreker- en Audio Specials waren tussen 1986 en 1996 bijzonder populair onder de audioliefhebbers. Nu nog krijgen we vragen over de verkrijgbaarheid van de artikelen van destijds. Helaas zijn de specials niet meer leverbaar. De revival van ‚oude stijl'-audio heeft ons doen besluiten de oorspronkelijke uitgaven (12 Nederlandse en 11 Duitse specials) te digitaliseren, zodat ook in dit millennium deze interessante bijdragen op CD-ROM toegankelijk blijven. Enkele klassiekers op de CD-ROM zijn: Prelude, Cresendo, Preamp en Audio Valve PPP30. Daarnaast treft u meer dan 140 artikelen aan over zelfbouw-luidsprekerboxen, alsmede een groot aantal achtergrondartikelen over de audiotechniek. Deze kennis is nog steeds actueel en de CD-ROM is een ideale informatiebron voor alle audioliefhebbers.

ISBN 978-90-5381-238-9• € 38,50

Bestel nu snel, eenvoudig en veilig via onze online shop:

www.elektor.nl

Elektor International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46 - 43 89 444
Fax +31 (0)46 - 43 70 161
E-mail: verkoop@elektor.nl

elektor



Luidsprekers ontwerpen

DVD Masterclass Luidsprekers

Deze DVD-ROM is een registratie van de Elektor Masterclass "Luidsprekers Ontwerpen". In deze masterclass behandelt Ing. Peter Swarte (voormalig ontwikkelaar luidsprekersystemen bij Philips en docent aan de Hogere Cursus Akoestiek in Antwerpen) de theorie en de praktijk van moderne luidsprekersystemen. De DVD bevat o.a. 4,5 uur beeldregistratie, de complete powerpointpresentatie van Swarte, rekensjablonen en -modules en gratis software. De DVD Masterclass Luidsprekers is een ideaal naslagwerk voor student, professional en hobbyist.

ISBN 978-90-5381-219-8 • € 24,95



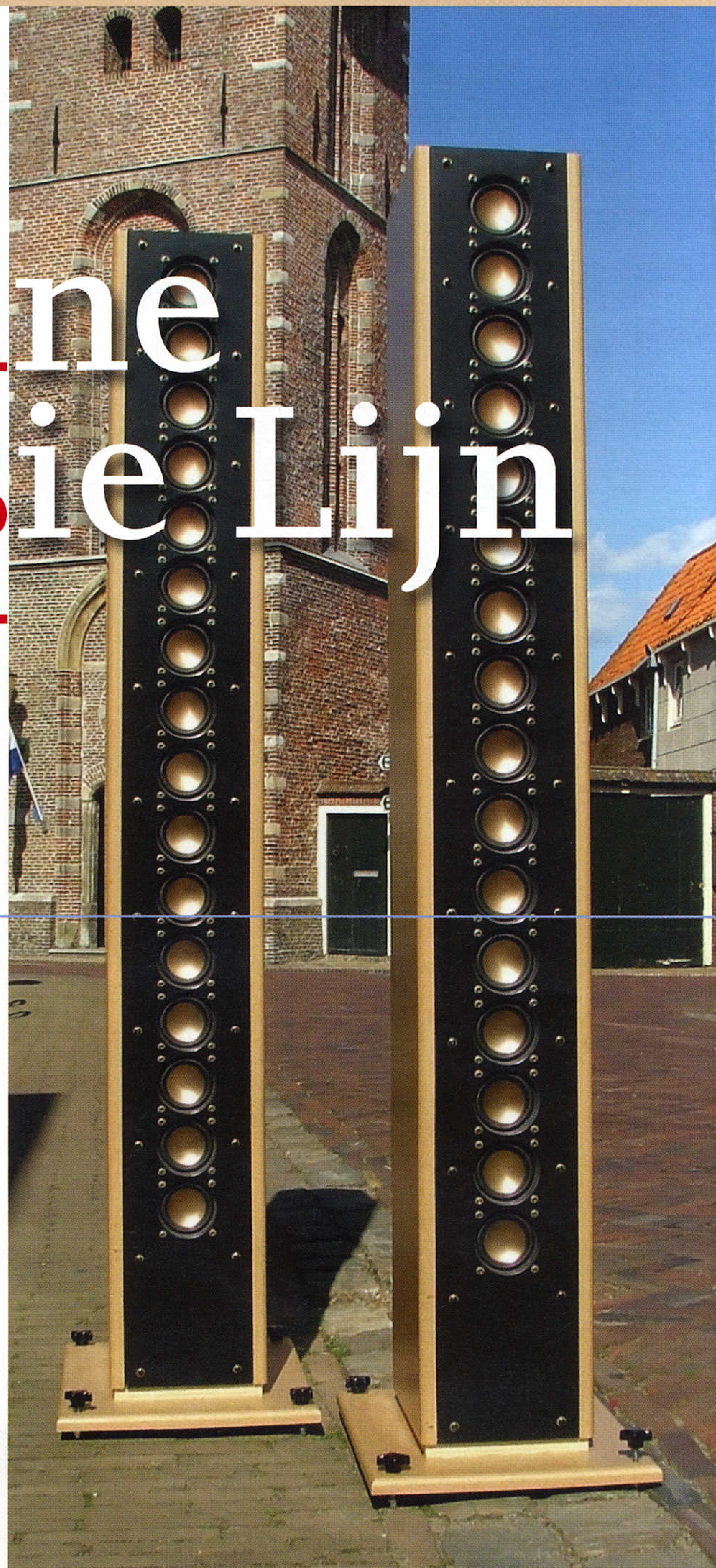
Door topontwerper Menno van der Veen

DVD Masterclass High-End Buizenversterkers

Deze DVD-ROM is een registratie van de Elektor Masterclass High-End Buizenversterkers. Hierin gaat ir. Menno van der Veen in op de voorspelbaarheid en waarneembaarheid van specificaties van buizenversterkers. Aan bod komen zaken als voor- en eindversterking en tegenkoppeling. De DVD bevat o.a. 4 uur beeldregistratie, de complete powerpointpresentatie van van der Veen, datasheets en documentatie over in de presentatie genoemde producten en onderwerpen en heel veel illustraties, foto's en screendumps.

ISBN 978-90-5381-229-7 • € 29,95

Foto 1: De Pipeline.



De Pipeline Transmissie Lijn Line Array

DOOR TONY GEE

Neemt men een conventionele dynamische luidspreker, dan heeft deze bij hogere frequenties een (min of meer) bolvormige afstraling, zeker wanneer er een enkele breedbandluidspreker wordt gebruikt. Bij lage frequenties met grote golflengtes is er sprake van een halfbolvormige afstraling omdat de afstand tot de vloer veel kleiner is dan de halve golflengte.

Plaatst men nu meerdere van deze zelfde breedbandluidsprekers in een verticale lijn dan ontstaat een hele andere afstraling. In plaats van een bolvormige afstraling is er nu sprake van een cilindervormige afstraling waarbij er dus een gecontroleerd geluidsfront wordt geproduceerd. Line-array luidsprekers voorkomen het ontstaan van verticale ruimte resonanties omdat zij over een gebied dat minstens de helft van de hoogte van de ruimte omvat, overal een gelijke geluidsdruk veroorzaken. Hier kunnen ten gevolge van de snelheidsmaxima geen verticale resonanties onstaan.

Eigenschappen

Naast het in de inleiding genoemde afstraalgedrag, heeft een line-array nog een aantal andere interessante eigenschappen. Een aardige bijkomstigheid van een cilindervormige afstraling van de midden- en hogere frequenties is dat reflecties tegen vloer en plafond beperkt zijn. Hierdoor bereikt meer direct geluid en minder indirect geluid de luisteraar, wat resulteert in een stabieler en beter gefocust geluidsbeeld. Het beeld van een line-array is dan ook kamervullend en constant over een brede luisterhoek. Verder geeft het combineren van een groot aantal (breedband)luidsprekers in één luidspreker een enorme toename in de maximale geluidsdruk en belastbaarheid en een grote verlaging van de hoeveelheid vervorming. Elke individuele driver hoeft tenslotte maar een heel klein deel van de totale geluidsdruk te produceren.

Een ander positieve eigenschap van een line-array is dat de totale conusoppervlakte is onderverdeeld in allemaal kleine, individueel aangedreven bewegende massa's. Dit komt de "snelheid" en dynamiek van het geluidsbeeld ten goede. De in de Pipeline toegepaste breedbandluidspreker heeft een conusoppervlakte van 30 cm² en een bewegende massa van slechts 3,1 gram! In elke behuizing zijn 16 stuks van deze driver gebruikt, wat neerkomt op een totale conusoppervlakte van 480 cm² – vergelijkbaar met die van een enkele 12-inch woofer terwijl de verhouding bewegende massa / aandrijfsysteem hetzelfde blijft als voor een enkele kleine breedbandluidspreker. In dit geval een acceleratiefactor van 935!



Een aantal van de toegepaste drivers.

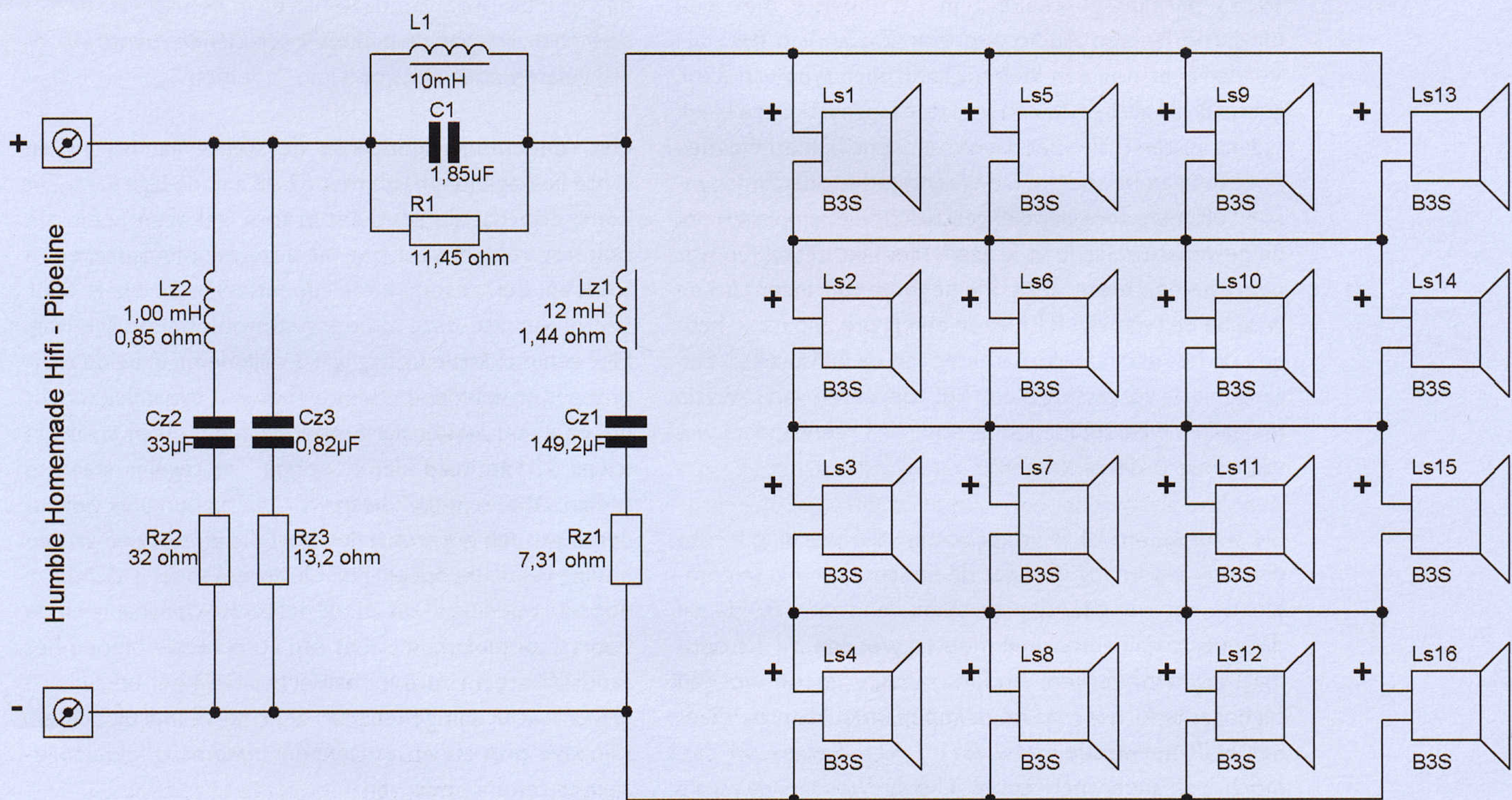
Zoals elk luidspekerprincipe heeft ook een line-array zijn beperkingen. Uitgaande dat elke driver van de array hetzelfde signaal produceert, wordt volgens de theorie een line-array gezien als één enkele geluidsbron met een langwerpige vorm. Vandaar de cilinder-vormige afstraling die pas op grote afstand overgaat in een bolvormige afstraling. In de praktijk (gemiddelde woonkamer) wordt er altijd near-field geluisterd, dus binnen de cilindervormige afstraling. Hierbij ontstaat één groot probleem: die van de uitdoving van hogere frequenties door interferentie. De luisteraar bevindt zich immers op ongelijke afstand tot elke bron van de array. Een oplossing zou kunnen zijn om de lijnbron te buigen (een soort halve maan vorm) maar dat zou alleen optimaal zijn voor één bepaalde afstand, namelijk de straal van de gebogen vorm. Naast dat de plaatsing van de luidsprekers nogal beperkt, de afstand luidspreker – bankstel ligt dan immers vast, wordt ook de sweet-spot nogal klein, waardoor het gezamenlijk met vrienden en familie luisteren naar mooie muziek tot het verleden behoort.

Verder heeft ook een line-array, net als alle luidsprekers, "last" van de zogenaamde baffle-step. Elke luidspreker in een behuizing heeft een bij toenemende frequentie, stijgende respons. Dit komt doordat hoge frequenties zich bundelen en lage frequenties naar alle kanten afstralen. Hierdoor komt er op de luisteras naar verhouding minder lage tonen energie aan. Het punt waarbij de baffle-step optreedt hangt van de breedte van de behuizing af maar bevindt zich bij de meeste speakers in het gebied tussen de 500 tot 800 Hz.

L1 = 10 mH Erse Super-Q kernspoel, Rdc = 0,26 ohm
Lz1 = 12 mH Jantzen Audio correctie spoel, Rdc = 1,44 ohm
Lz2 = 1,0 mH 0,70 mH luchtspoel, Rdc = 0,85 ohm
C1 = 1,85 uF totaal samengesteld uit NOS Russische types + 0,01 uF Jantzen Audio Superior Z-Cap + 0,032 uF Zilver Mica parallel
Cz1 = 149,2 uF samengesteld uit 100 uF + 47 uF bipolair + 2,2 uF MKP parallel
Cz2 = 33 uF MKP
Cz3 = 0,82 uF MKP
R1 = 11,45 ohm (12 ohm MOX 10 watt + 710 + 710 + 910 + 8200 ohm / 0,25 watt / 0,1% precisie metaalfilmweerstanden parallel)
Rz1 = 7,31 ohm (27 + 27 + 27 + 39 ohm MOX 10 watt parallel)
Rz2 - 32 ohm (47 + 100 ohm MOX 10 watt parallel)
Rz3 - 13,2 ohm (22 + 33 ohm MOX 10 watt parallel)

Spiderman

Daar zitten we dan: een luidspreker met weinig laag en weinig hoog, schel en blikkerig, dat lijkt niet veelbelovend! Zal hij er in kunnen slagen de boel te redden? Gelukkig is er ook voor dit probleem weer een oplossing: Spiderman ... ik bedoel een correctienetwerk. Het corrigeren van de frequentiecurve zou ook actief kunnen, maar bij dit ontwerp is gekozen voor de meest eenvoudige en goedkope oplossing, een passief LCR-net-



Figuur 1: **Het filterschema van de Pipeline.**

werk direct in de signaalweg van de line-array. Er gaat dan wel enig rendement van de luidspreker verloren, maar daar was in het middengebied toch teveel van.

Op het eerste gezicht ziet het filter in figuur 2 er wat complex uit maar in feite bestaat het alleen maar uit correctienetwerken, eentje die de frequentiecurve corrigeert en drie die de impedantie corrigeren. De eigenlijke filterwerking wordt gedaan door spoel L1, condensator C1 en weerstand R1. De werking van van dit netwerk is als volgt: spoel L1 zorgt voor een laagdoorlaat functie voor de breedbander, condensator C1 zorgt voor een hoogdoorlaat functie voor de breedbander. Weerstand R1 zorgt voor de mate van werking van de spoel en condensator. Is de waarde van R1 oneindig groot, dan zal alle energie via de spoel en de condensator stromen en zal er dus alleen maar laag en hoog worden doorgelaten. Het midden zal dus worden beperkt. Is de waarde van R1 oneindig klein dan zal alle energie voorbij de spoel en de condensator stromen en zal er van correctie geen sprake zijn. Door dus met de waarde van R1 te spelen kan de mate van demping van het middengebied worden bepaald. Door te spelen met de waardes van L1 en C1 kan de bandbreedte van het te corrigeren middengebied worden bepaald.

De kwaliteit van deze drie onderdelen is van cruciaal belang voor het uiteindelijke karakter van de luidspreker. Voor de spoel is, gezien de hoge waarde, gekozen voor een kern type vanwege de benodigde lage inwendige weerstand zodat de laagste octaven met zo weinig mogelijk verliezen en zo goed gedefinieerd mogelijk doorkomen. De condensator is samengesteld uit meerdere kleine waardes die parallel geschakeld. De laatste tijd is een grote hoeveelheid condensatoren verkrijgbaar afkomstig uit het voormalige Sovjet tijdperk. Hier zitten bijvoorbeeld interessante papier-in-olie types tussen. In het filter van de Pipeline zijn meerdere van deze New Old Stock condensatoren (in dit geval bouwjaar 1971) parallel geschakeld in combinatie met een moderne Jantzen Audio Superior Z-Cap van 0,01 uF. Verder is er nog een kleine Zilver Mica type van 32nF gebruikt die als bypass condensator fungeert. Deze bleek tijdens luistersessies net dat extra beetje helderheid mee te geven aan het beeld. De weerstand is ook samengesteld uit meerdere parallel geschakelde exemplaren om de gewenste waarde te krijgen. Het lijkt misschien wat overdreven, maar zelfs kleine veranderingen in de waarde en type van R1 bleken een grote impact te hebben op het uiteindelijke karakter van de luidspreker. Een aangename verrassing bleek het toepassen van precisie metaalfilm weerstanden, waardoor de breedbanders wat meer micro-detail kregen.

De waarde van L1 is vrij groot en zijn werking begint dan ook vrij vroeg. Omdat de luidspreker / kast combinatie een impedantiepiek heeft rond de 120 Hz zal deze eerst vlak getrokken moeten worden wil L1 optimaal kunnen werken. Anders zal zijn functie worden tegengewerkt door de hoge impedantie. Hiertoe dient het LCR-netwerkje Lz1 / Cz1 / Rz1. Let er op dat, mocht een ander merk spoel gekozen worden, de totale

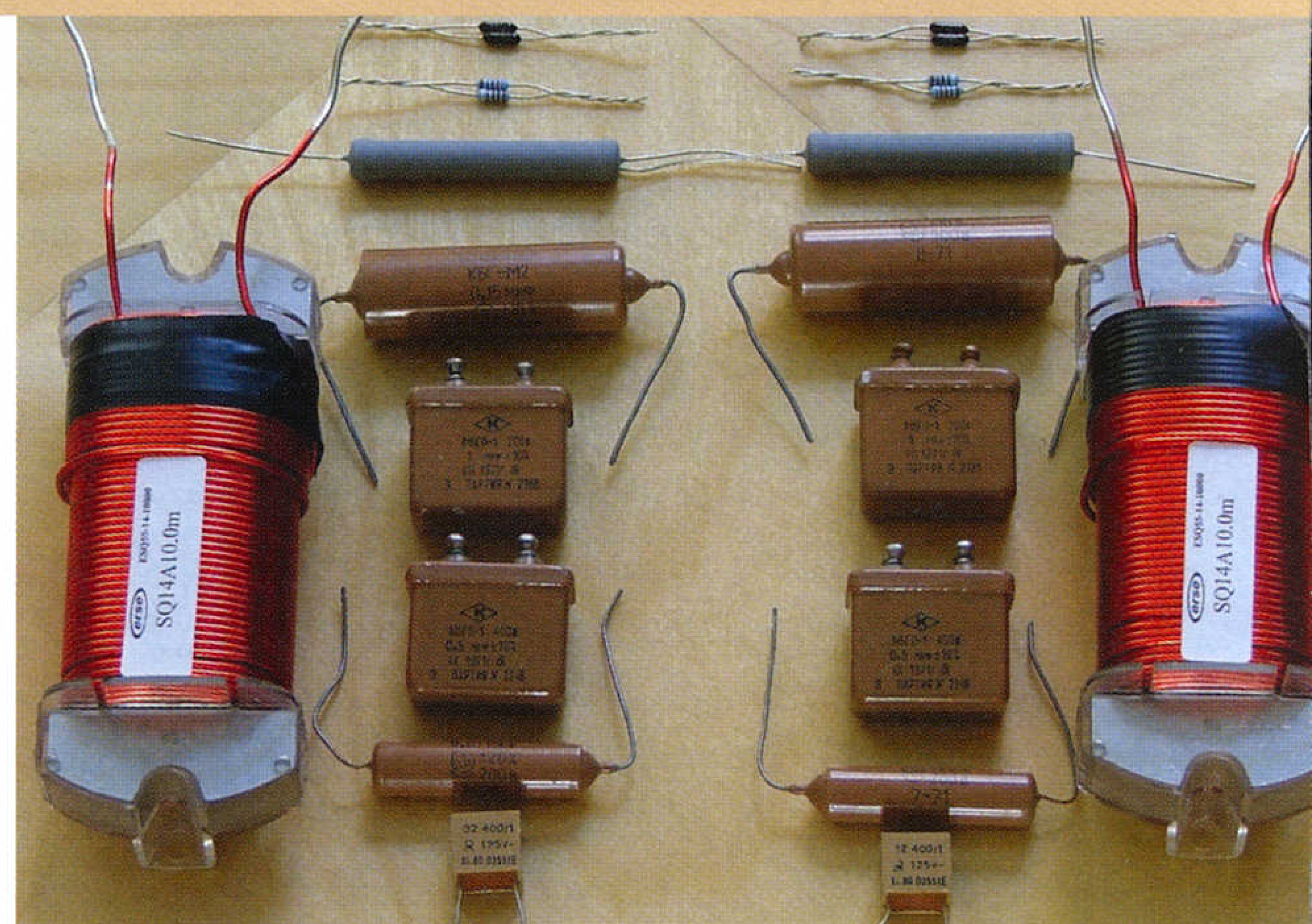


Foto 3: Diverse onderdelen van het belangrijkste correctienetwerk

waarde van Rdc gelijk blijft. Verder zien we nog een tweetal LCR-netwerkjes die parallel aan de aansluitklemmen zitten. Deze hebben uitsluitend als functie de systeemimpedantie na filtering mooi ohms te maken. Hier zullen met name versterkers met een lage dempingsfactor blij mee zijn, maar ook de wat "zwaardere" versterkers kunnen ervan profiteren. Het is dan ook raadzaam deze twee netwerkjes mee te nemen in het geheel, aan de kosten kan het niet liggen.

Het kleine wondertje

De hier gebruikte breedbander is de in China gemaakte Hi-Vi (Swans) B3S. In totaal worden 32 stuks van deze breedbander gebruikt voor één paar luidsprekers. Het betreft een bijzondere driver met een frontmaat van 78x78millimeter en een convexe conus uit één stuk van bronskleurig geanodiseerd aluminium. Er is in het midden van de conus dan ook geen stofkap of fasekegel te vinden. De oppervlakte van deze conus bedraagt, zoals eerder gezegd, slechts 30 cm2. De conus is opgehangen in een hele soepele rubberen rolrand. Aan de achterzijde zien we een naar verhouding enorme, afgeschermde magneet die zorgt voor een sterke aandrijving van de slechts 3,1 gram bewegende massa. Let op bij het inbouwen van deze driver in de kast dat er aan de binnenzijde van de behuizing voldoende ruimte wordt vrij gelaten zodat hij goed kan "ademen".

Het rendement is ondanks de sterke aandrijving en lichte bewegende massa met 82 dB aan de lage kant. Dit komt doordat de fabrikant ervoor gekozen heeft om ook nog relatief veel laag uit deze mini-luidspreker te toveren. Een resonantie frequentie van 80 Hz is voor een driver van deze afmeting dan ook behoorlijk laag. Met een maximale uitslag van 3 millimeter in beide richtingen is er voldoende ruimte voor wat dynamiek mocht het een keer lekker hard moeten, zeker als er straks in totaal 32 van deze kleine wondertjes tegelijk staan te spelen. Al deze onderdelen worden op hun plek gehouden door een geperst stalen korf die is voorzien van de nodige ventilatie openingen. De spreekspoel is zichtbaar door de openingen tussen de achterste ophanging en de voorste poolplaat, dit alles om compressie binnen het aandrijfsysteem te minimaliseren. De heel betaalbare driver laat in zijn geheel een zeer nette indruk achter. Zijn lage prijs is een aangename bijkomstigheid aangezien er zoveel nodig zijn.



Foto 4: Close-up van de Pipeline

Transmissie lijn

De behuizing waarin al deze drivers zijn gemonteerd is ook een lijn, namelijk een transmissie lijn. Doordat de afstemfrequentie niet extreem laag hoeft en de array van breedbanders zoiezo vrij lang is, kon worden volstaan met een ongevouwen transmissie lijn behuizing. In principe is dit dus een hoge, slanke zuilvormige luidsprekerkast waarvan de bovenzijde open gelaten is zodat efficient gebruik gemaakt wordt van de in de kast afgestraalde lage tonen energie. Zijn inwendige hoogte van 150 cm zou overeen moeten komen met een kwart golflengte van circa 57 Hz, voldoende laag voor zulke kleine breedbanders. Verder staat de kast ten behoeve van de stabiliteit op een 18 mm dikke grondplaat van 435x330 millimeter. Op elke hoek zijn verstelbare "spikes" geplaatst zodat de kast makkelijk loodrecht te plaatsen is, ook op onregelmatige ondergronden.

Alle wanden van deze behuizing, op de binnenzijde van de baffle na, zijn inwendig bekleed met 3 cm dik Intertechnik Damping -30 dempingsmateriaal en de onderste twee derde van de inhoud is gevuld met zwarte Sonofil polyester dempingswatten. De rij Hi-Vi B3S-jes zorgt in combinatie met de open pijp behuizing voor een -3dB punt van rond de 80 Hz en -6dB rond circa 60 Hz. Verder treffen we binnenin twee plankjes die zorgen voor extra stabiliteit. Op de bouwtekening is te zien hoe een en ander in elkaar zit. De kasten zijn gemaakt van 18 mm dik mdf en zijn afgewerkt met een zijdemat watergedragen lak. De baffle is met behulp van een CNC-machine gefreesd uit een stuk 12 mm massief zwart Corian® kunststeen. Het gebruik van een CNC-machine maakt het fabriceren van de kasten een stuk makkelijker aangezien (naast de 32 gaten voor de drivers) de 172 gaten t.b.v. de bevestigingsbouten ook in één keer, heel precies meegenomen kunnen worden.

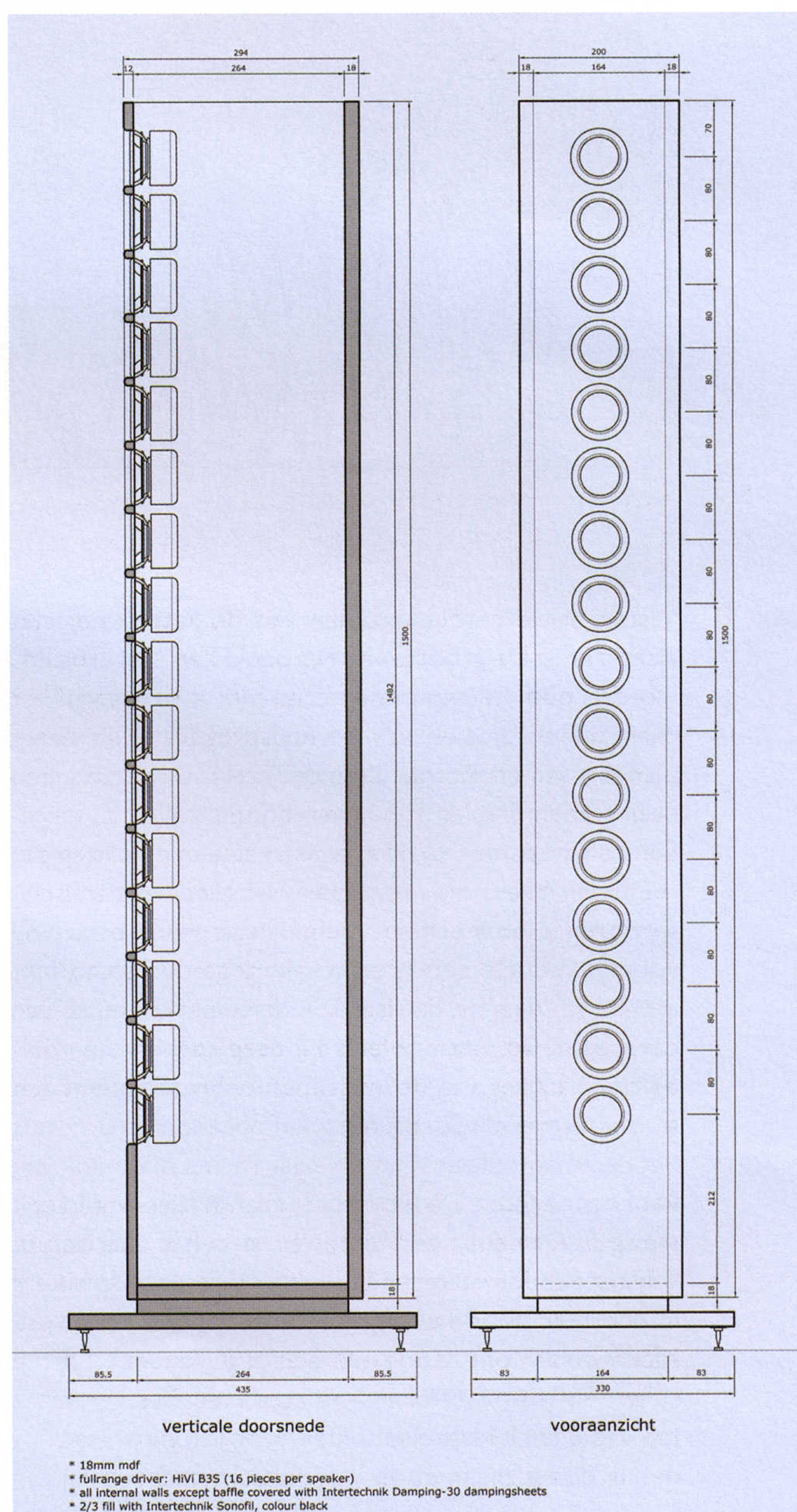
De breedbanders zijn aan de achterzijde het front gemonteerd zodat ze optimaal in de kast kunnen ventileren, diffractie problemen aan de voorzijde van de baffle zijn minimaal aangezien de conussen bij hoge frequenties enigszins bundelen. Deze wijze van montage biedt ook enige bescherming voor de kwestbare conusjes. Voor het monteren is gebruik gemaakt van zwarte inbusbouten met messing ringetjes die mooi harmoniëren met de kleurstelling van de Hi-Vi breedbandluidsprekers. Aan de achterkant van de kasten treffen we een paar degelijke poolklemmen aan.

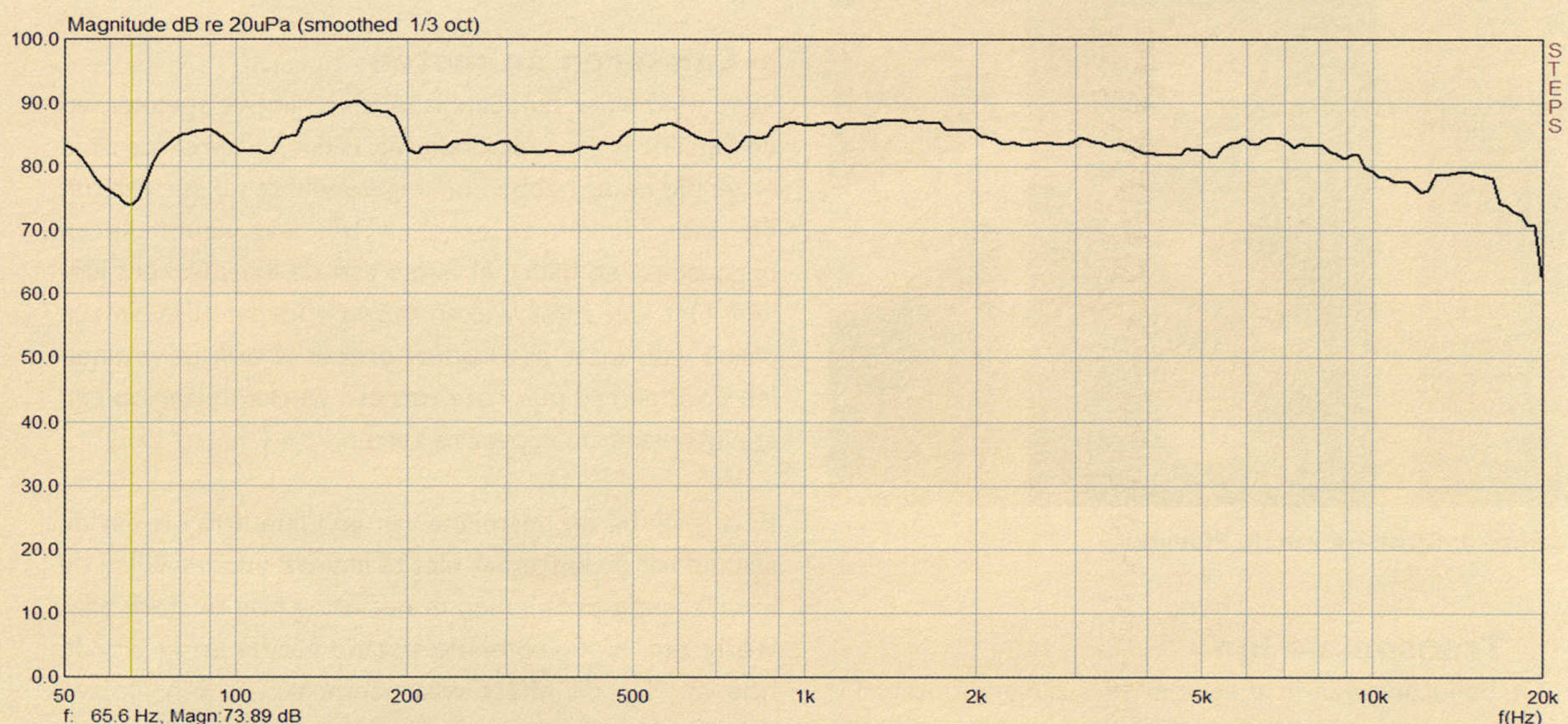
Luisteren en meten

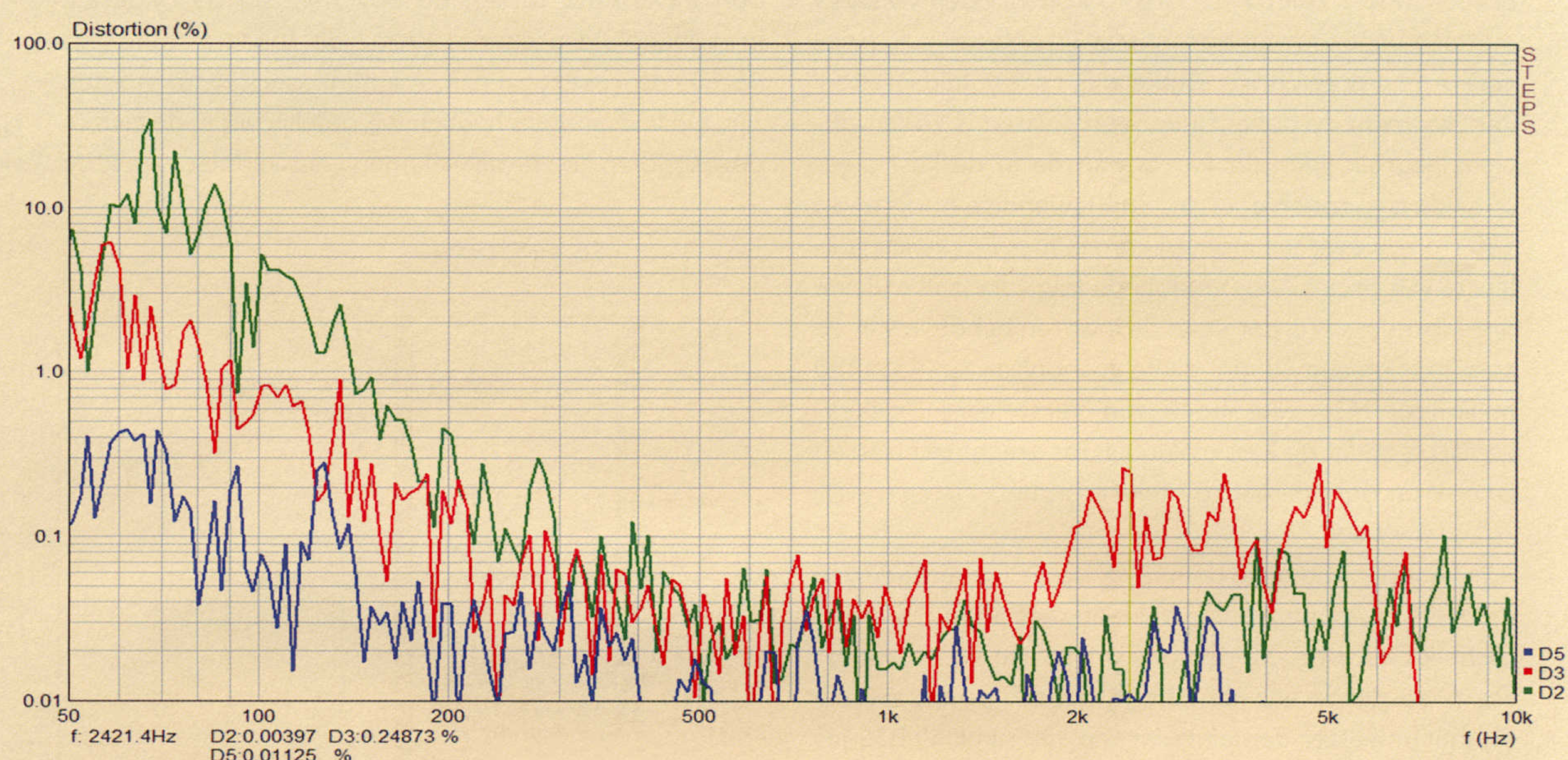
Wat altijd weer duidelijk is bij elke nieuwe speaker, en de Pipeline is geen uitzondering, is dat luidsprekers altijd enige tijd nodig hebben om ingespeeld te raken. Vers uit de doos klinken ze schel, is het laag rommelig en bescheiden en blijft het beeld aan de luidsprekers kleven. Het kan soms weken duren voordat alles op zijn plaats valt, maar het inspeel proces is ook te versnellen door een cd met roze ruis een weekend lang op een stevig niveau op repeat te zetten.

Belangrijk bij de opstelling van een line-array is dat de afstand tot de luisteraar niet te klein is, anders zullen de interferentie problemen in het hoog nog te sterk aanwezig zijn. Hoe groter de afstand tot de array wordt, hoe minder dit effect waarneembaar is. Een globale vuistregel is dat de luisterafstand minimaal twee keer de lengte van de array moet zijn. Bij de Pipeline is de hart-op-hart afstand tussen de bovenste en de onderste breedbandluidspreker 120cm, de luisterafstand tot deze luidsprekers zal dan ook minimaal 240cm moeten zijn. De luidsprekers hebben we redelijk vrij in de ruimte opgesteld en zo ver naar binnen gedraaid dat vanuit de

Figuur 2: De bouwtekening van de Pipeline.







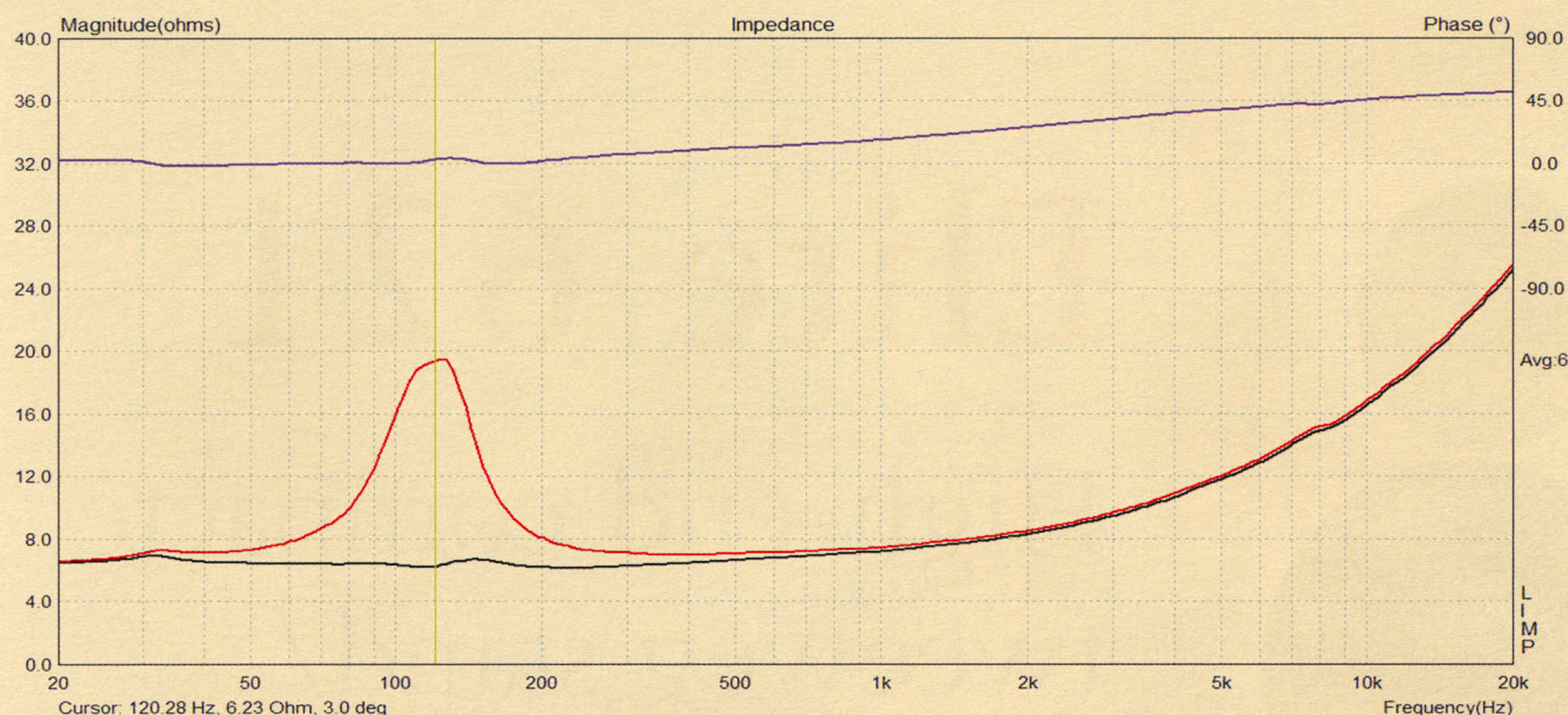
Figuur 3: Frequentiecurve

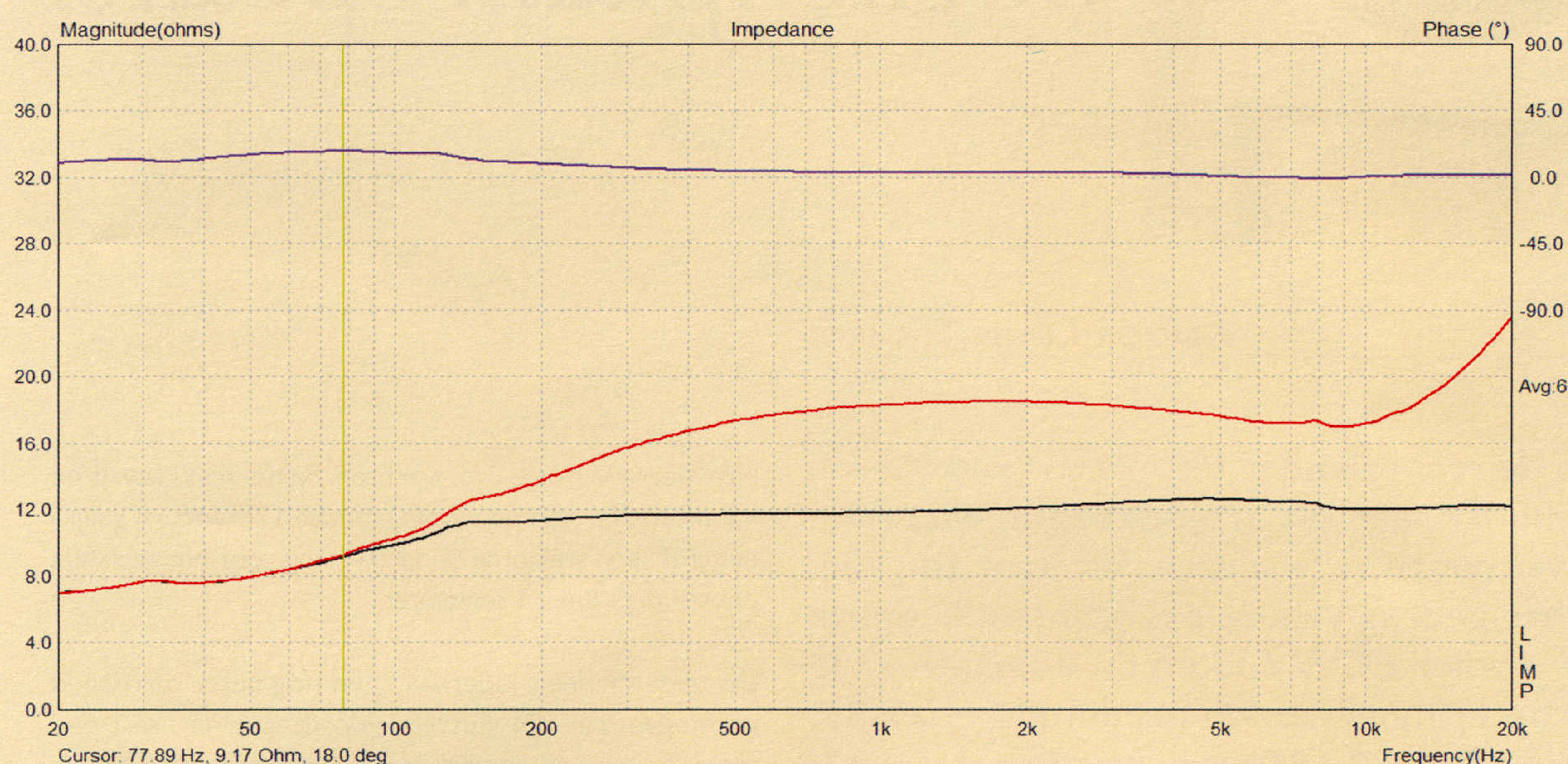
Figuur 4: Vervormingscurve

luisterpositie de binnenzijden van de kasten nog net zichtbaar is. De grootte van het beeld kan "ingeregeld" worden door te experimenteren met de mate van het naar binnen draaien van de luidsprekers – dit hangt namelijk samen met de uiteindelijke luisterafstand. Een paar graden draaien kan al een hoop schelen.

Eenmaal goed opgesteld creeëren ze een enorm groot ruimtelijk beeld met soms beangstigende dynamische sprongen. Het is een soort muur van geluid maar wel vol met subtiele details en schakeringen. Als pin-point imaging je "ding" is, dan is een andere speaker misschien beter geschikt, maar toch is bij deze speaker een duidelijke plaatsing van de instrumenten en stemmen een vanzelfsprekendheid. Bij een goed opgenomen orkest is het beeld niet alleen van links naar rechts maar ook van voor naar achter. De kleine breedbandertjes weten een stevig fundament neer te zetten al is het allerlaagste sublaag minder vertegenwoordigd. Wie deze speakers in een zeer hoogwaardig thuisbioscoop wil opnemen, raden we aan om ze nog met één of twee niet te kleine subwoofers aan te vullen – je kunt niet alles verwachten van 8 cm luidsprekers! Het hoog van de breedbander is direct maar nooit opdringerig met een lekker dynamisch karakter en voldoende gedetailleerd om alle details te laten horen, het speeksel van de Diana Krall, het ruisen van de gitaarversterker van Bill Frisell, de dempers van de vleugel van Olga Kern, etc. De Pipeline geeft een diepe blik in de opname en neemt je heel makkelijk mee op een muzikale ontdekkingsreis.

Deze keer hebben we de meting van de frequentiecurve op een iets andere manier moeten doen. De standaard meting op 1 meter geeft een kamfilter effect te zien in het hoog vanaf circa 4 kHz en hoger. Op drie meter afstand (op de luisterplek) is hier in het geheel geen sprake meer van, op die plek is dan ook de SPL meting verricht. In figuur 3 is te zien dat de Pipeline een mooi evenwichtig en glad frequentieverloop heeft met een rendement van rond de 85 dB. Het hoog loopt iets af, maar dat is gebruikelijk bij een meting op grotere afstand. Figuur 4 laat de 2e, 3e en 5e harmonische vervorming zien bij 1 watt van 50 Hz tot 10 kHz. In het laag neemt de vervorming sterk toe, maar dat is logisch met zulke kleine woofertjes. In het hoog daarentegen is de vervorming mooi laag, alleen rond 2-6 kHz stijgt de derde harmonische iets, maar blijft nog altijd onder de 0,25%. In het middengebied komt het niet boven de 0,1% uit!





De impedantie hebben we op meerdere momenten gemeten. Figuur 5 laat zien dat zonder filtering de kast / breedbander combinatie een resonantie piek heeft van rond de 120Hz (rode curve). Door toevoeging van netwerk Lz1 / Cz1 / Rz1 wordt deze vlak getrokken zodat spoel L1 zijn werk volgens het boekje kan doen (zwarte curve). Vervolgens zien we in figuur 6 wat er gebeurt als het correctienetwerk L1 / C1 / R1 in de signaalweg wordt gestopt. De hele impedantie van 100 Hz tot 10 kHz wordt verhoogd (rode curve). De luidspreker zal in dit gebied dus minder energie opnemen, of te wel het middengebied wordt gedempt. Het hoog en het laag worden ongehinderd doorgelaten. Vervolgens zien we in de zwarte curve wat er gebeurt met de systeemimpedantie als de twee LCR-netwerken voor de correctienetwerk worden toegevoegd. Zelden hebben we zo een vlakke impedantiecurve gezien, bijna alsof hij met een liniaal is getekend! Het vormt een bijna ohmse belasting van rond de 12 ohm, aflopend naar 7 ohm bij 20 Hz. De bijbehorende electrische fase is ook extreem vlak en blijft tussen de 0 en + 18 graden. Dit zal een erg makkelijke belasting zijn voor bijna alle versterkers.

Figuur 5:
Impedantie voor filtering

Figuur 6:
Impedantie na filtering

Referenties:

Luidsprekers fabels en feiten, G. Schwamkrug, R. Römer, Elektuur B.V. 1987

Specificaties

Naam:	Pipeline
Principe:	éénweg transmissielijn line-array systeem
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Website:	http://www.humblehomemadehifi.com
Breedbander:	Hi-Vi B3S - 8 ohm
Scheidingsfilter:	geen, alleen correctienetwerken
Afmetingen:	1500x200x294mm (hxbxd) exclusief voetplaat
Netto inhoud:	circa 60 liter
Belastbaarheid:	240 Watt
Prijs bouwkit:	€ 220,- per stuk (drivers + scheidingsfilter)



Elite 621

High-end compacte tweeweg stand/ boekenplank speaker

DOOR LOUIS TIMMERS

Toen de Nederlandse importeur van Morel, Eltim audio BV, aan dit project begon wist men nog niet wat het te verwachten resultaat zou zijn. Immers het gedrag van de pas geïntroduceerde Morel woofer ECW 638 en de doorgevoerde verbeteringen aan de beroemde MDT-33, genaamd ET 338-104 waren nog grotendeels onbekend. De woofer nodigde uit om er het maximaal haalbare uit te halen door middel van het ontwerpen van een compact formaat speaker, waarbij de 6" woofer tot ruim 3 kHz kan doorlopen en daarmee het volledige vocale bereik zou overlappen. Daarmee lag de weg open om dit systeem eventueel aan te vullen met een (sub)woofer systeem en er zo een volwaardige drieweg speaker van te maken.

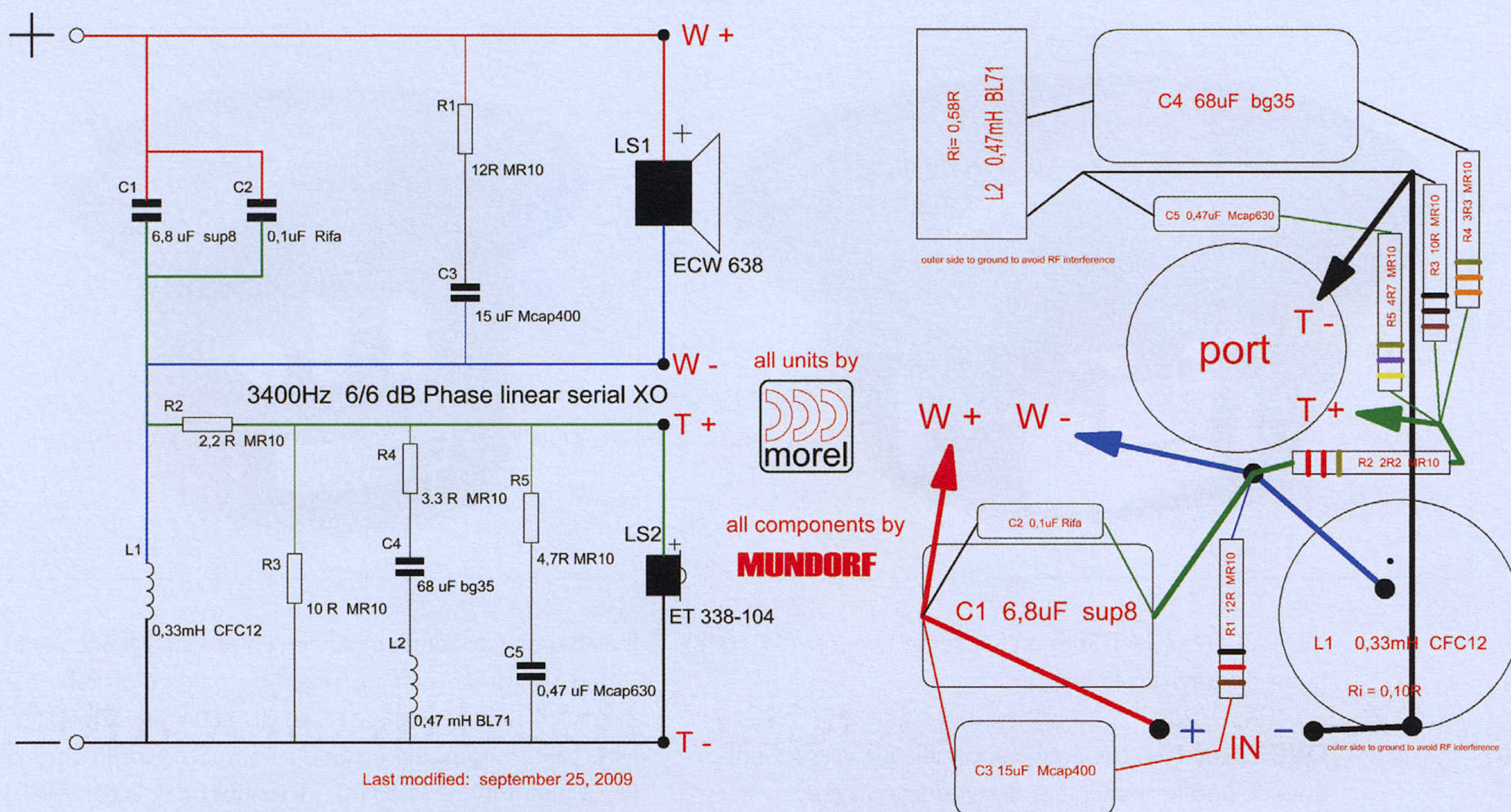
Inleiding

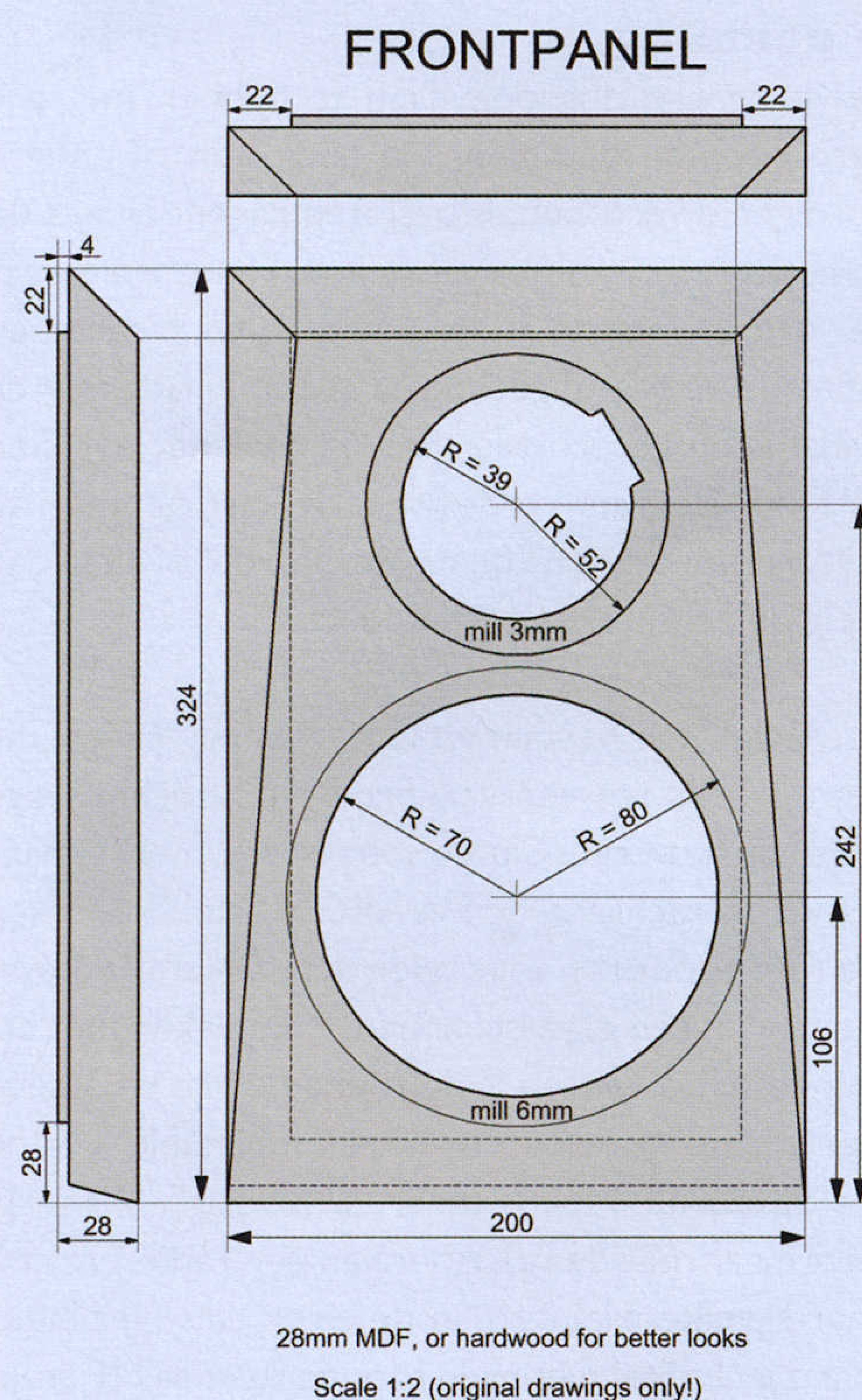
Met de komst van een reeks nieuwe units in het Morel programma kunnen er een veelvoud van moderne ontwerpen worden ontwikkeld. Eindelijk zijn er woofers beschikbaar met moderne parameters. Eén van de mogelijkheden blijkt dit ontwerp te zijn. Met de nieuwe units uit de Elite serie blijkt het mogelijk te zijn een compact model speaker te bouwen met een zeer hoog kwaliteitsniveau. De woofer loopt zowel naar beneden als naar boven ver door, zodat we het kantelpunt boven het vocale bereik kunnen brengen en tegelijkertijd een flinke basweergave mogen verwachten. Rond 3,4 kHz valt de karakteristiek van de woofer met ca.12dB/octaaf gelijkmatig af ; een welkome ondersteuning voor het geplande eenvoudige 6/6 dB seriefilter.

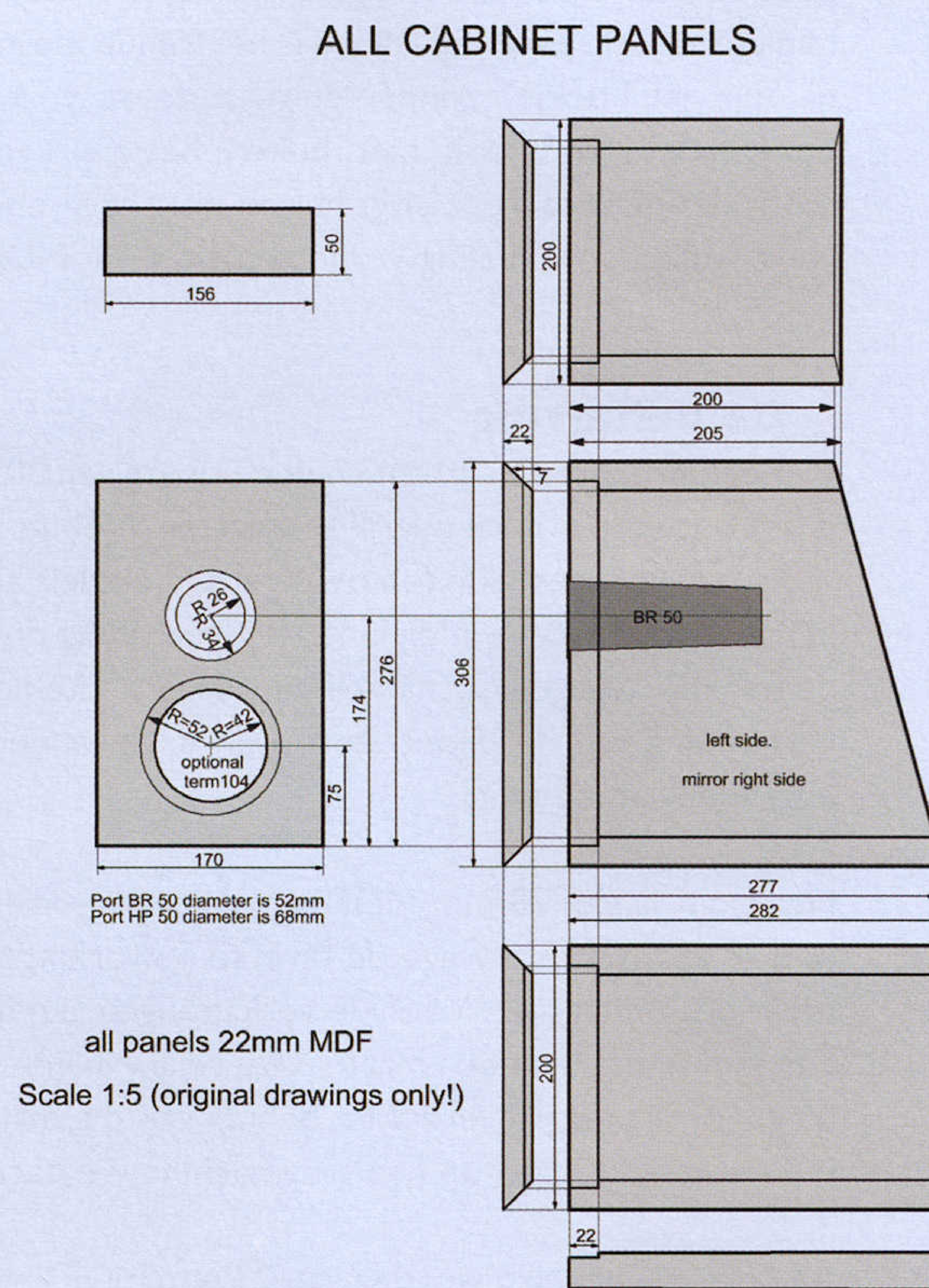
De tweeter heeft inderdaad een nog beter oplossend vermogen dan zijn illustere voorganger en naast een meer "high-end" uiterlijk is nu vanwege de IDR frontplaat inderdaad de spreiding vergroot.
Met het vrij hoge filterpunt heeft geen enkele Morel tweeter moeite. Door een iets hogere kantelfrequentie te kiezen maken we ook gebruik van de tweeterkarakteristiek en komen we akoestisch gezien uit op een 12/12 dB filtering rond de genoemde 3400 Hz en maken we het mogelijk er een op een later tijdstip volwaardig driewegsysteem van te maken door er een kast onder te plaatsen welke het absolute laag van de ECW 638 woofer tot cicra 300 Hz overneemt en deze zodoende ontlast van het weergeven van de laagste frequenties.

De driver units

In dit ontwerp wordt de splinternieuwe Morel woofer ECW 638 ingezet. Met het nieuwe gietaluminium chassis ademt deze woofer veel beter dan de vorige modellen die het nog met een geperst stalen chassis moesten doen. Het nieuwe Uniflow frame is dermate open, dat de anatomie van de unit blootgelegd is. De gigantische 75 mm Hexatech spreekspoel met zeskantig aluminium draad is aan de buitenzijde zelfs zichtbaar vanwege hun EVC (External Voice Coil) principe. De ontwikkelde warmte kan op die wijze optimaal worden afgegeven aan







de omgeving, temeer omdat er via gaatjes in de spreekspoel drager en open poolkern een extra luchtcirculatie wordt geforceerd.
De spreekspoel wordt aangedreven door een Hybrid magneetsysteem, waarbij een Neodymium hoofdmagneet wordt ondersteund door een kleine ferriet magneet om het magnetisch veld in de luchtspleet te optimaliseren. Een koperen kortsluitring beperkt de tegen-EMK drastisch en zorgt tegelijk voor een veel vlakkere impedantie curve dan we gewend zijn. De conus is van DPC (Damped Polymer Composite) en is afgefreesd wat bovendien een fraai aanzien geeft.

Net als bij alle andere nieuwe woofers zijn de parameters aangepast aan de huidige eisen en functioneren ze in moderne, compacte ontwerpen, gesloten dan wel basreflex. De ECW 638 is berekend op een gepoorte kastinhoud van ca 8,5 liter, waaraan deze Elite 621 voldoet.

De tweeter ET 338 is een doorontwikkeling van de legendarische MDT-33, het meest bekende model van Morel. Ook hier heeft de firma zich aan de moderne tijd aangepast en wordt dit nieuwe model in de industrie standaard afmeting van Ø 104 mm gepresenteerd. Overigens zijn ook de opvolgers van de MDT-29 (CAT 298),





MDT-30/32s (CAT 308) en Supreme tweeter (ST 1048) nu in dit formaat leverbaar.

De ET 338(-104) tweeter is voorzien van vergrote doorboorde poolkernen in het drievoudige magneetsysteem. Samen vormen ze een optimaal gedempte kamer. Door de zijden, handgecoate 28 mm softdome, is dit goed te zien. Ook deze unit gebruikt een Hexatech aluminium spreekspoel. Opvallend is het frequentiegedrag, nl. "uit het boekje" zonder enige serieuze vorm van onregelmatigheid, ook niet buiten het werkgebied. Door het nieuwe front oogt het nu ook "high-end" en is de "off-axis" afstraling verbeterd t.o.v. de MDT-33.

De behuizing

Met een breedte van 20 cm en een hoogte van 30,6 cm is het ontwerp vrijwel overal te plaatsen. Net als bij de vorig jaar voorgestelde (en overigens inmiddels aangepaste) CA-65 wordt in dit ontwerp veelvuldig de "gulden snede" toegepast, namelijk in de breedte/hoogte verhouding van het front, de rib en in de onderlinge afstanden van de units.

Het front is van 28 mm MDF gemaakt en verdient de nodige aandacht vanwege de diverse bewerkingen die het moet ondergaan. Voor de verkantingen aan de zijden kunt u het best een mal maken, waarvan een tekening wordt meegeleverd. Met behulp van die mal kunt u deze verkantingen op een zaagmachine wegzagen.

Alle overige panelen worden van 22 mm MDF vervaardigd. Om het monteren te vergemakkelijken kunt u het beste het paneel aan de achterzijde rondom 4x22mm uitfrezen. Het haaks en correct verlijmen wordt zo vergemakkelijkt. De extra tijd die dit freeswerk vergt wordt tijdens het monteren teruggewonnen en een goed resultaat gewaarborgd. Tegenwoordig heeft bijna iedere hobbyist wel een bovenfrees, dus zal dit niet echt een probleem zijn. Middels een 45° snede passen de zij- , boven- en onderpanelen tegen elkaar en kunnen d.m.v. een spanband of tape bij elkaar gehouden worden tot de (PE-) lijm gedroogd is. Indien u volgens tekening werkt, valt de achterzijde exact in de uitsparingen die in de andere panelen gemaakt zijn. Een standaard HP 50 poort met afgeronde opening is achterin gemonteerd.

Indien u onvoldoende middelen en/of vaardigheden hebt, raden we u aan een kit met houtpakket of zelfs een reeds gemonteerde kast aan te schaffen. Overigens levert Eltim houtpakketten die vervaardigd zijn uit professioneel MDFT (Topan). Het oppervlak is aanzienlijk gladder en harder dan conventioneel bouwmarkt MDF.

De demping

Na veelvuldig ervaring opgedaan te hebben met alle denkbare soorten demping, die allen één of andere eigenaardigheid vertonen, is besloten nagenoeg uitsluitend Twaron Angel Hair te gebruiken. Het is weliswaar duurder dan de meeste andere materialen, maar door de relatief kleine benodigde massa in combinatie met de klankwinst is dit gerechtvaardigd. Tijdens het tweaken bleek slechts 25 gram verdeeld in de kast optimaal te zijn. Wilt u er mee experimenteren, schroef of klem dan voorlopig de achterzijde tegen de kast.

Twaron Angel Hair bestaat uit flinterdunne draden, die door een proces tot een vervormbare, veerkrachtige massa wordt bewerkt. Op de foto is een mensenhaar te zien met daarachter wat TWARON haar. Het is dus zoals de foto toont een zeer open massa materiaal, wat resulteert in unieke eigenschappen. Vergeleken met bv. de bekende witte watten is de toename van weergave van zeer zachte signalen en de ruimtelijkheid van de opname opvallend. Men is meer "aanwezig". Vergelijk het effect maar met de ruisvloer van een radio ontvanger, waar signalen kleiner dan de eigen ruis niet meer hoorbaar zijn. Eerste metingen toonden aan dat 10 gram Twaron ongeveer evenveel dempt als 50 gram schapenwol, met dien verstande dat Twaron een breder werkgebied heeft. Door het materiaal losser of dichter te vullen, kan men de effecten naar smaak aanpassen. Vanwege de elasticiteit vult het de ruimte geheel en blijft het op z'n plaats. Achter de tweeter, tegen de poortingang wordt een stukje dacron geplaatst, waarmee voorkomen wordt dat er Twaron naar buiten en/of ongewenste zaken naar binnen verdwijnen.

Het filter

Eltim heeft geprobeerd het systeem zo faselineair mogelijk te maken, door toepassing van een 6/6dB wis-

selfilter, een dergelijk filter geeft de minste fasedraaiing. Veel driver units kunnen dit niet aan, maar alle Morel units kunnen middels een dergelijk filter toegepast worden. Om het fasegedrag nog verder te verbeteren is voor een seriefilter gekozen. Buiten het gegeven dat een dergelijk filter exact afgestemd dient te worden is het enig nadelig effect wat een dergelijk filter veroorzaakt een neerwaarts gerichte afstraling van ca 15° rond de scheidings-frequentie. Deze brede "lob" is vanwege de kanteling van het front horizontaal gericht en zal hier geen problemen veroorzaken. Tegelijkertijd zijn de akoestische centra van de units zo perfect uitgelijnd.

Het toegepaste 6/6 dB (L1, resp. C1+C2) filter is rond 3400 Hz afgestemd. Terwijl er een minimale fasevervorming en tijdvertraging veroorzaakt wordt, immers kenmerkend voor een 6 dB filter, wordt er samen met de karakteristieken van de units toch een ca. 12/12 dB akoestisch resultaat gehaald. We gebruiken een Mundorf Supreme condensator en een 28 mm folie spoel in de signaalweg. Met enkele compensatienetwerkjes (Mcaps, metaal oxide weerstanden en een backlack spoeltje) belasten we het eigenlijke seriefilter met een constante impedantie, een strikte voorwaarde voor een correcte werking van een dergelijk filter en een daarmee gepaard gaand optimaal fasegedrag. Dit resulteert in een nagenoeg vlakke impedantie curve met een waarde van 7 ohms vanaf 100 Hz. Dit gegeven in combinatie met een bijna vlakke frequentie curve binnen 2 dB betekent dat het fase gedrag eveneens zeer goed is, immers staan deze drie factoren in directe relatie tot elkaar. Om dit te bewerkstelligen zijn er netwerkjes parallel aan de woofer (R1/C3) en de tweeter (R5/C5) geplaatst die de stijging van de impedantie bij toename van de frequentie compenseren. Daarnaast is er een netwerkje (R4/C4/L2) geplaatst die de stijging rond 700 Hz t.g.v. de eigen resonantie van de tweeter compenseert. Om het rendement van de tweeter terug te brengen naar het niveau van de woofer dienen R2/R3.
We komen daarmee uit op een rendement van 88 dB/2,83 V/m.

De resultaten

De combinatie van de units, het eerste orde seriefilter, het dempingmateriaal en veelvuldige toepassing van de "gulden snede" maakt deze speaker tot een interessant en fraai gebalanceerd klinkend ontwerp. Het klankbeeld is homogeen en geeft de typische "rust" die je vaker opvalt bij het luisteren naar ontwerpen waarin Morel wordt toegepast. Ook valt de fraaie, diepe laag weergave op. Ademhalen, het hout van de drumstokken en woodblocks, de ruimtelijke klank bij live registraties, klepbediening van een saxofoon en zelfs de NOS journaal studio, etc. is bovengemiddeld waarneembaar, ook mede dankzij het Twaron dempingmateriaal. Het nieuwe Uniflow chassis veroorzaakt een uitbreiding aan de onderkant van de frequentiekarakteristiek, want alle modellen die de ontwerper tot nu toe in handen heeft gehad, zoals bv. de inmiddels leverbare SCW636 met een unieke carbonfiber sandwich conus, blijken dieper door te lopen dan hun voorgangers met het kenmerkende stalen chassis. Ook is de ietwat nasale klank van de voorgangers, veroorzaakt door een te krappe inbouw in de baffle!, is totaal verdwenen. De tweeter laat de boventonen zijdezacht horen; er is geen vleug van scherpte waar te nemen. Zeker in verhouding tot het formaat van de kast is de laagweergave zowel in kwaliteit als in diepgang bewonderenswaardig te noemen. Voor gemiddelde luisterruimtes zal deze speaker zeker voldoen. Indien u de luxe heeft in een forse ruimte te kunnen luisteren kunt u altijd overwegen er een drieweg systeem van te maken.

Ontwerp

Louis Timmers, Eltim audio BV, september 2009

Bouwkosten

Alle benodigde hout (MDF 22 mm + plaatje 28 mm), lijm, etc.	ca. € 15,00
Elite 621 speaker kit: units, poort, dempingmaterialen en bouwbeschrijving	€ 340,00
Elite 621 houtpakket: alle bewerkte kastdelen uit 22/28 mm MDFT	€ 79,00
Elite 621 filterkit: alle Mundorf filteronderdelen, incl. montagematerialen	€ 95,00
Ook in diverse bouwstadia leverbaar:	prijs op aanvraag

Elite 621 stuklijst

Driver units:
LS1 = MOREL ECW 638
LS2 = MOREL ET 338-104

Filtercomponenten:
L1 = 0,33mH cfc12
L2 = 0,47mH bl71
C1 = 6,8uF sup8
C2 = 0,1uF Rifa
C3 = 15uF mcap400
C4 = 68uF bg35
C5 = 0,47uF mcap630
R1 = 12R mr10
R2 = 2,2R mr10
R3 = 10R mr10
R4 = 3,3R mr10
R5 = 4,7R mr10
Poort = HP50

Panelen:
Zie bouwtekeningen of
Elite621wood houtpakket

Demping:
20-25 gram Twaron angel hair
16x16 cm dacron of BAF

Usher Dancer Mini One meets DEQX





Van een goede luidspreker naar een betere luidspreker

DOOR RUDO MEIJER

In tijden van resessie wordt er minder snel een nieuwe auto aangeschaft en langer doorgereden met de huidige. Deze auto wordt steeds opgelapt en waar nodig aangepast, omdat dat nu eenmaal goedkoper is dan een nieuwe. Datzelfde is mogelijk met de audioset en het is zelfs aan te raden in tijden van hoogconjunctuur. Eén manier om de weergave aanzienlijk te doen verbeteren is door middel van actieve filtering van de luidsprekers in combinatie met correctie van de akoestiek van de luisterruimte. In onderstaand artikel wordt de ombouw beschreven van de Usher Mini Dancer I met behulp van een DEQX, een actief, op DSP gebaseerd, regelsysteem dat ook de invloeden van de luisterruimte meeweegt. De gebruikte luidspreker is naast relatief voordelig prachtig van afwerking met fraaie materialen en onderdelen en biedt een hoge geluidskwaliteit. Goed basismateriaal dus om als vertrekpunt te dienen naar een volledig actieve versie.

Van passief naar actief

Actieve luidsprekers zijn niet erg populair. Nog niet. In audioland heerst in het algemeen de opvatting 'less is more', een vuistregel die vanaf de jaren '70 niet meer uit te bannen is.

Wanneer we de actieve systemen in herinnering roepen uit die tijd, uitgebreide schakelingen met veel opamps en daarbij de audiofiele weerzin tegen opamps, dan is hierin de oorzaak te vinden van deze actieve aversie. Inmiddels zijn er vele zeer goed klinkende versterkers waarin opamps te vinden zijn. Overigens, actief filteren hoeft niet persé met electronische onderdelen uitgevoerd te worden, het kan ook via rekenprocessen met DSP, Digital Signal Processing. Voorwaarde is een digitaal signaal, daarmee kan van alles gedaan worden. Analoge signalen uit een draatafel, cd-speler, tuner etc, worden eerst digitaal gemaakt via een nauwkeurige AD conversie, van een cd-drive of squeezebox kan direct het digitale signaal aangepakt worden. Het aanpakken van het signaal staat den dienste van het uiteindelijke geluid zoals dat te beluisteren is in de luisterruimte.

Voordelen actief versus passief

Waarom actief?

- *Omdat het beter klinkt.*
- *Omdat het mogelijkheden geeft tot correctie aan:*
  De luidsprekers (in frequentie en in tijd)
  Kamerakoestiek
  Het frequentieverloop (media correctie via de uitgebreide equaliser)
- *Omdat het de mogelijkheid biedt tot het soepel integreren van een subwoofer.*
- *Omdat het kan anno 2009.*

Waarom passief?

- *Omdat deze uitvoering prijstechnisch voordeliger is, doordat er minder eindversterkers noodzakelijk zijn.*
- *Omdat de speaker ook later omgebouwd kan worden naar de actieve variant en je zodoende een groeimogelijkheid hebt met 'iets' om naar te verlangen.*

Toelichting

De actieve benading klinkt beter doordat de woofer maximaal gecontroleerd wordt door de eindversterker, er zit immers geen wisselfilter tussen de versterker en de woofer. Het laag is daardoor veel strakker dan bij de passieve uitvoering mogelijk is. Hetzelfde geldt voor de tweeter, waardoor de hoogweergave zuiverder, sneller en schoner klinkt.

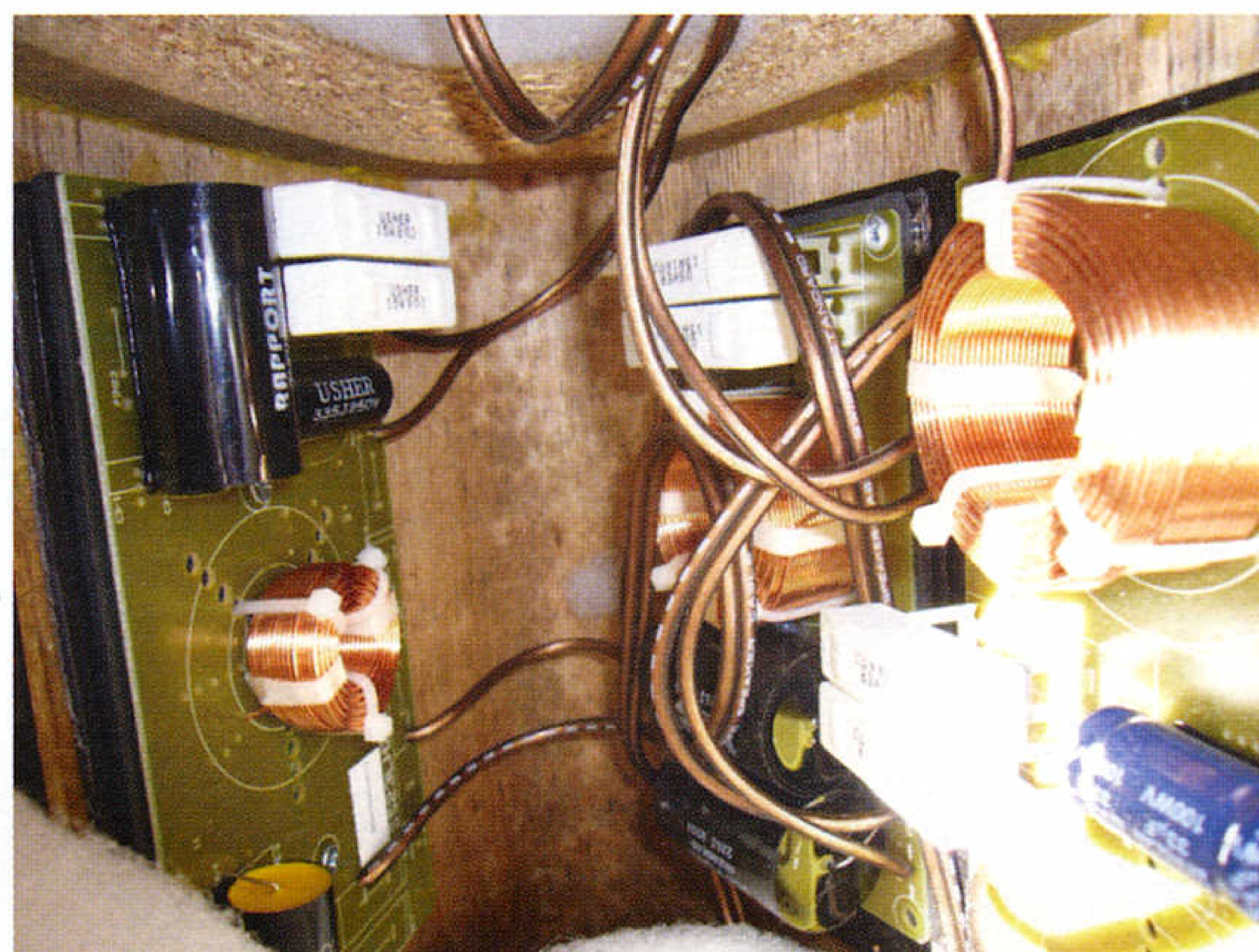
De tweeter geeft de tonen onder de kantelfrequentie niet meer hoorbaar weer vanwege de steile filterhelling van 96 dB/octaaf die de DEQX biedt. De weergave van tonen onder de kantelfrequentie hebben in de regel de grootse bijdrage aan de vervormingscijfers.

De tweeter kan eerder op de frequentieband beginnen vanwege de steilere filterhelling waardoor het stereobeeld een grotere sweet-spot krijgt. In de luisterruimte klinkt de muziek in een groter gebied optimaal. Daarnaast worden de groeplooptijden van de twee speakerunits gelijk gemaakt worden, waardoor het stereobeeld scherper is.

Daarnaast zijn er voordelen die geen betrekking hebben op correctie aan de speakers, maar aan de luisterruimte en de muziekmedia. De kamercorrectie; akoestische aanpassingen aan de luisterruimte door de staande golven op te heffen. Dat geeft in akoestisch lastige ruimtes, maar ook in de doorsnee huiskamer, een heerlijk stressvrij geluid. En er zijn aanpassingen mogelijk aan het timbre, wanneer de smaak dit verlangt. Ook hier geldt weer dat veel mensen daar weerzin tegen hebben, klankregelaars op de versterkers zijn jaren terug verdwenen. De DEQX 10-bands parametrische equalizer, waarbij je de bandbreedte, het werkzame gebied traploos kan instellen werkt in het digitale domein, zonder nadelen. Tenslotte is de luisteraar is het niet altijd eens met het klankbeeld van de weergave, zodat na aanpassing de muziek genietbaar wordt.

De verbouw van de Usher

De passieve Usher heeft een fraai uitgevoerd wisselfilter. Dat wil zeggen: er zitten mooi uitziende componenten in, voor wat het waard is. Tenslotte is een filter pas echt goed door correct op werking uitgekozen componenten in de juiste waarden in de juiste filtertopologie.

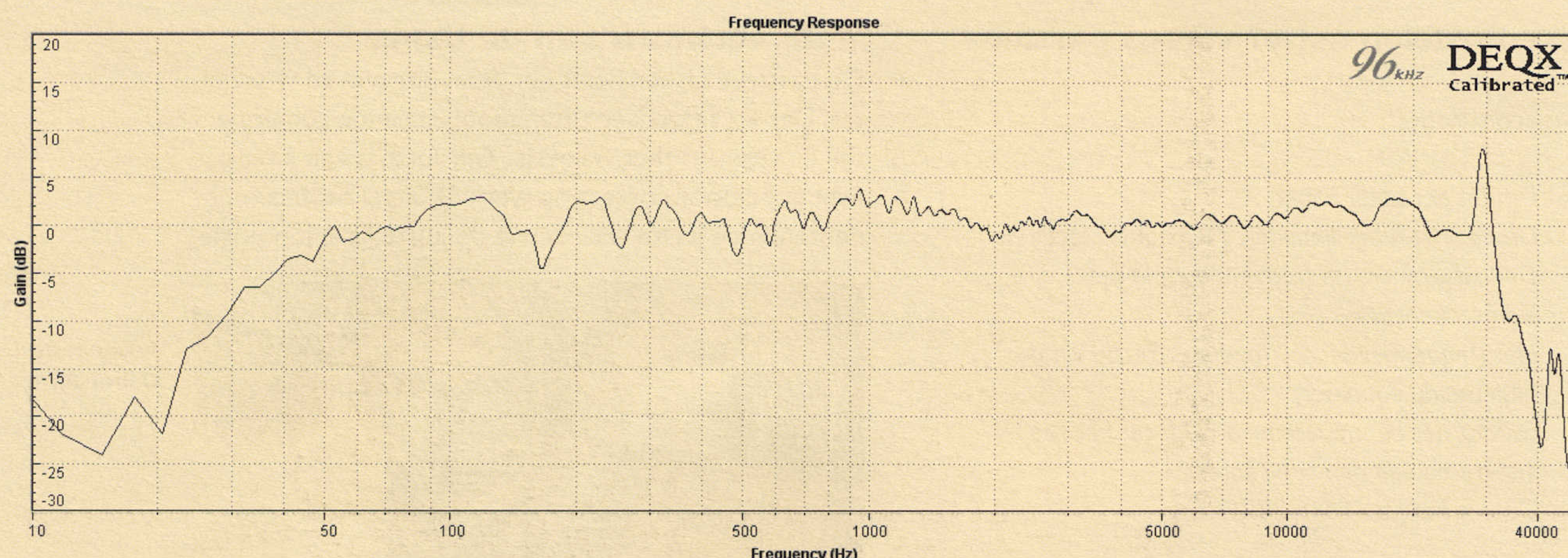


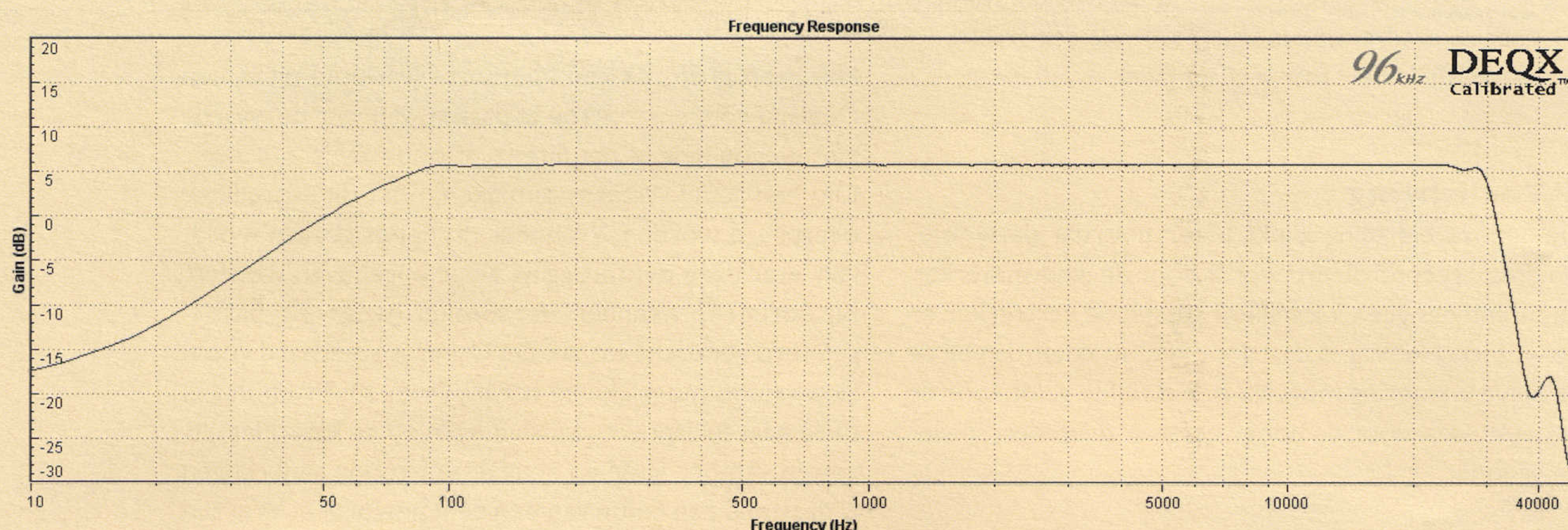
Afbeelding 1: Usher filter

Het geeft geen pas een Mundorf silver/gold oil of een Deuland condensator toe te passen wanneer de waarde niet de goede is of het filter niet optimaal is.
Om een actief systeem te maken moet dit wisselfilter overbrugd worden. Wanneer dit netjes gedaan wordt kan later deze overbrugging weer opgeheven worden. Bijvoorbeeld wanneer de speaker weer als passief gefilterd verkocht wordt. De Usher is standaard voorzien van de mogelijkheid tot bi-wiren, er zitten dus al twee paar luidspreker aansluitingen op de kast. Het uitzetten van het filter en actieve aansturing aanbrengen is daarmee een fluitje van een cent geworden. Wel zijn uiteraard extra eindversterkers noodzakelijk, per speaker unit één eindversterker, dus we kunnen met twee stereo eindversterker uit de voeten.



Afbeelding 2: Meting usher





Afbeelding 3: passief full range

Afbeelding 4: Usher actief freq curve I

Het actieve wisselfilter

Het meten van het complete systeem bestaat uit twee fasen. Fase I bestaat uit metingen om een wisselfilter te 'bouwen', bij fase 2 zijn metingen nodig voor kamercorrectie.
Bij Fase I wordt er buiten gemeten, om storende reflecties te vermijden. In deze fase komt het geluid rechtstreeks uit de speakers, zonder invloed van de kamer. Enkel op basis van goede metingen kan een goed wisselfilter bepaald worden, dus deze metingen moeten met zorg uitgevoerd worden.
Met de geavanceerde software van DEQX worden de metingen verwerkt. Op basis van het resultaat wordt het wisselfilter samengesteld, in dit geval een scheiding op 2 kHz met filterhellingen van 96 dB/octaaf.

Meten aan de passief gefilterde Usher geeft een frequentiekromme zoals te zien op afbeelding 3.

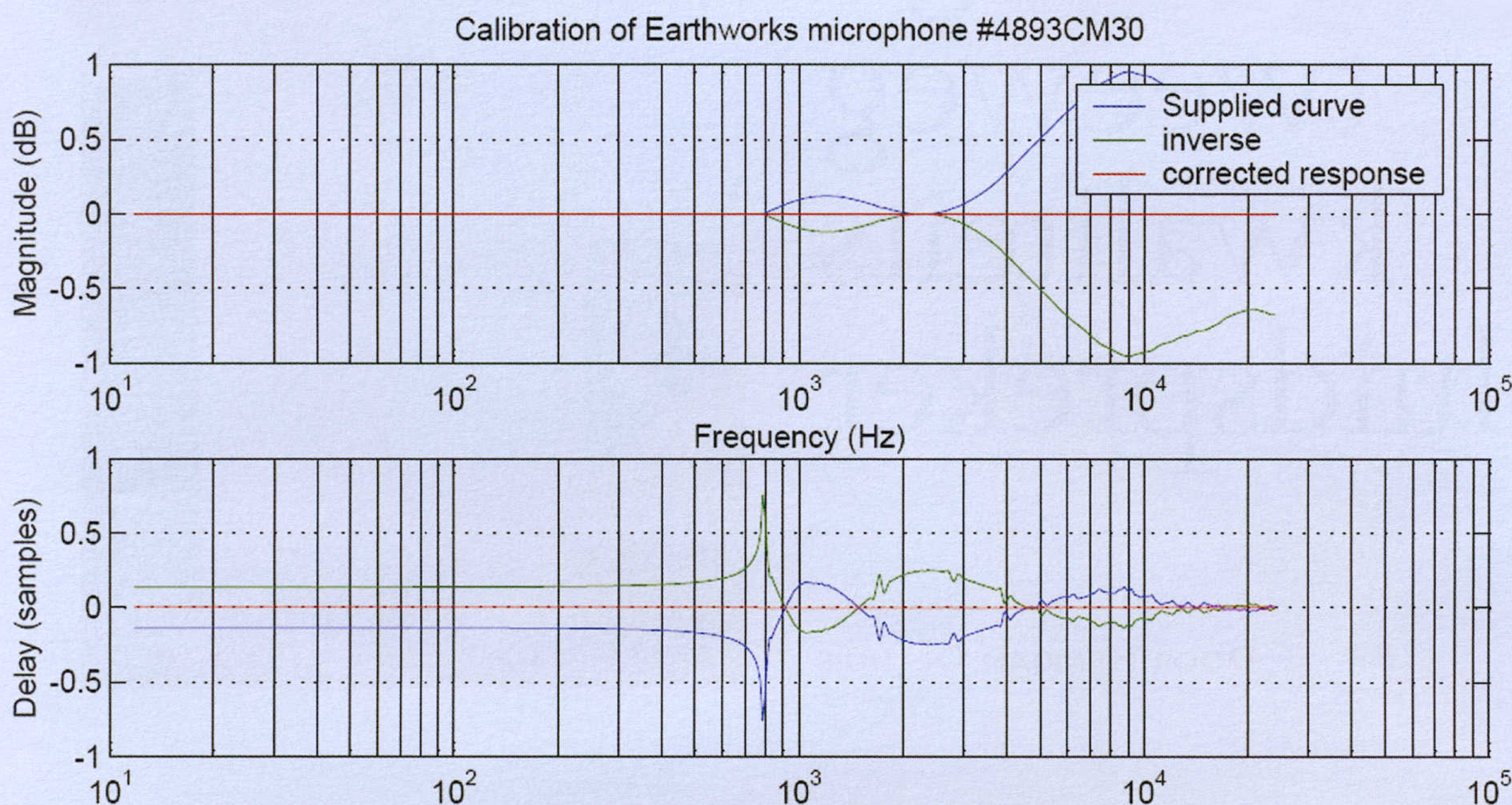
Dit is nogal een bultig landschap zo op het eerste gezicht, de vraag is of die hobbels erg zijn. Het antwoord op die vraag is ja én nee. 'Ja' het is wel erg, omdat een niet vloeiend verloop van de curve inhoudt dat de speaker sommige frequenties harder dan wel zachter weergeeft. Dit is kleuring van het geluid, aantasting van het originele signaal. Het is daarmee geen neutrale speaker. En 'nee' het is niet erg, omdat deze curve in het vrije veld is opgenomen. Wanneer de speaker in een huiskamer staat ziet het verloop er weer heel anders uit omdat daar lage frequenties worden versterkt, het hoog loopt daardoor af in de grafiek. En het zou zo uit kunnen pakken dat de kamer net versterking geeft aan 150 Hz waar de speaker juist een dip heeft om zo toch een gelijkmatige basweergave te krijgen. Maar erg waarschijnlijk is dat natuurlijk niet.
Wanneer de argumenten gewogen worden slaat de balans door naar een verregaand streven naar een lineair frequentieverloop. Een vloeiend verloop is de minimum eis voor een nog neutraal te noemen speaker, uiteraard lukt dit alleen met daarbij inbegrepen een correctie voor de huiskamer akoestiek

Het frequentieverloop van de actieve Usher is te zien op afbeelding 4.

Zoals te zien is deze curve recht vanaf 100 Hz. Iets lager zou ook kunnen, maar het is slechts een 15 cm (mid)-woofer, dus we kunnen niet teveel corrigeren in het laag. Een diepe laagweergave zou ten koste gaan van de maximale excursie van de speaker unit en zou daarmee juist extra vervorming introduceren, kortom een reeële afweging moet hier gemaakt worden.

De meetmicrofoon

Wanneer er met een geweer voorzien van een niet correct afgesteld vizier op een roos geschoten wordt, is het schot altijd naast de roos. Er is immers een systematische fout aanwezig. Als je de fout kent kun je deze compenseren. Je kunt ook het vizier afstellen en dan wordt met een gecalibreerd systeem geschoten. Hetzelfde geldt voor het doen van metingen aan luidsprekers of de huiskamer akoestiek en de hierbij gebruikte microfoon. Elke microfoon heeft een zekere afwijking, zoals bijvoorbeeld een oplopende frequentiecurve. Bij DEQX worden de meetmicrofoons individueel doorgemeten en de calibratiegegevens in de DEQX software geladen. Er is daarmee een gecalibreerd systeem verkregen, een foutloze microfoon.



Afbeelding 5: **Earthworks microfoon-correctie**

Room knowledge factor

Wanneer een speaker in een huiskamer wordt geplaatst zijn er bepaalde frequenties aan te wijzen die versterkt en andere die verzwakt worden. Dit is eigen aan de ruimte maar ook aan de plaats van de speaker. De ruimte heeft voorkeursfrequenties of staande golven. Nauwkeurig positioneren van de speaker kan deze verstoring minimaliseren, maar er is niet altijd de vrijheid om de speakers ver van de wand in de kamer te zetten.

Gelukkig biedt de DEQX hier uitkomst, nadat de speakers op de gewenste plek zijn gezet wordt de kamer opgemeten met DEQX. De microfoon wordt op de favoriete luisterplaats op oorhoogte gezet en op die plaats wordt het geluidsbeeld geoptimaliseerd. Het is ook mogelijk om op meer plaatsen metingen te doen, er zijn vier presets mogelijk, ook kan een gemiddelde van vele plekken bepaald worden om zodoende de 'room knowledge factor' maximaal te krijgen. Let wel, men moet verstandig omgaan met het willen dempen van élk dal en het nivelleren van elke piek. In een minder gunstige situatie kan een weggewerkte piek even verderop in de ruimte juist een extra grote verstoring geven. Bij een optimale instelling is de beloning een prachtig gedetailleerde laagweergave en vrij van 'nare druk op de oren'.

Conclusie

Een in beginsel mooie luidspreker van huis uit passief gefilterd krijgt een enorme opwaardering door deze speaker actief te maken met DEQX. Daarbij gaat een wereld open aan inregelmogelijkheden met correcties aan de huiskamer akoestiek, fase- en looptijdverschillen en vele andere zaken die passief vrijwel niet te corrigeren zijn. Ook correcties aan het klankbeeld zijn mogelijk waardoor CD's die een onaangename klankkleur hebben nu wel in de smaak vallen.

Rudo Meijer, http://www.audiosense.nl

Gebruikte apparatuur en prijzen:

- DEQX HDP3	€ 4050,-
- DEQX calibratie kit (software & meetmicrofoon)	€ 220,-
- Usher Dancer Mini-I	€ 2995,-

Nescio

Actieve design tweeweg kwaliteits luidspreker



Door Henkjan Olthuis

Een high-end design luidspreker met een uitzonderlijk goede ruimtelijke weergave, een gedetailleerd hoog en een echt dynamisch en mooi diep laag die ook nog eens flexibel in te zetten is. Door een combinatie van een paar bijzondere drivers en een nieuw versterker concept is dit nu binnen het bereik van iedere zelfbouwer.

Een nieuw versterkerconcept

In mei van dit jaar verraste Hypex de zelfbouw gemeenschap met de AS2/100, een zogenaamde plate amp met 2 stuks 100W van hun onvolprezen UcD versterkers en een DSP waarmee een 2 weg luidspreker actief gemaakt kon worden.

Wat over de werking de AS2/100, het audiosignaal wordt analoog aangeboden en wordt naar digitaal omgezet voor het digitale filter ermee aan de slag gaat (optioneel is er ook een versie beschikbaar waar het signaal digitaal (via S/PDIF of USB) kan worden aangeboden, wat dan uiteraard zonder A/D conversie naar het filter gaat). Vervolgens neemt de DSP alle verdere signaalverwerking op zich: volumeregeling, looptijdcorrectie, wisselfilter en responscorrectie van de luidsprekerdrivers. Vanuit de DSP vertrekt het signaal naar een D/A omzetter die de versterkers rechtstreeks aanstuurt. De luidsprekerdrivers zitten direct op de versterkeruitgang aangesloten. Verder is er een filterbare uitgang (cinch) voor een subwoofer. Bij stereogebruik van 2 stuks AS2/100 wordt er 1 unit (de 'master') op de bron aangesloten en via een doorlusverbinding voor audio en commando's wordt de andere unit ('de slave') aangestuurd.



Filtering en responscorrectie worden samen uitgevoerd door een rij vrij instelbare tweede-orde filterblokken (in DSP-taal "biquads"). Elk zo'n blok kan gebruikt worden als eerste of tweede-orde laag- of hoogdoorlaatfilter, hoog-op of laag-op "shelf" (ook eerste of tweede orde) en als banddoorlaat- of sperfilter. Uiteindelijk is er ook nog de mogelijkheid om een biquad helemaal vrij in te stellen als "asymmetrische shelf", deze zal door speakerbouwers vooral worden toegepast als een Linkwitz Transformatie. Daarmee kan je de natuurlijke response van een driver 'vervangen' door een response op een gewenste frequentie.

Keuze van de drivers

Voor een systeem op basis van deze bijzondere versterker, horen uiteraard geen ordinaire drivers, maar wat bijzonders. We hebben er voor gekozen om geen normale tweeweg te ontwerpen, maar om 1 driver voor het complete hoog en mid te gebruiken, en dan een stevige bas driver voor de onderste frequenties. Dit noemt men een FAST systeem (Full-range And Sub Technology), en ander voorbeeld hiervan is de Capella uit de 2008 Elektor Audio Special. Een goed ontworpen FAST systeem combineert de voordelen van een breedbander met die van een meerweg systeem: een goede ruimtelijke weergave en toch een stevig laag.

Voor het midden en het hoog hebben we gekozen voor de uit de vorige Elektor Audio Special bekende Markaudio Alpair5. Dit is een high-end midtweeter (ook bekend als breedbander), die we nu gaan inzetten in z'n optimale frequentiegebied (het midden en hoog dus), voor de bas zetten we namelijk ook een specialist in. Dit heeft als voordeel dat de Alpair5 nog zuiverder zal spelen en al z'n kwaliteiten tot volle wasdom kan laten komen.

Voor de bas is gekozen voor de CSS Trio8. Deze 20 cm driver is mede dankzij de toegepaste XBL™ technologie in staat om een zeer degelijk basfundament neer te leggen, zowel qua diepgang als qua dynamiek. We kiezen ervoor om de driver in een gesloten kast toe te passen omdat dit de beste impulsrespons oplevert; zelfs dan heeft de Trio8 al een frequentiebereik dat voor de meeste muziek toereikend is. Voor de meeste andere drivers moet er een BR kast gekozen worden. Maar met behulp van de DSP in de AS2/100 is het mogelijk om de basweergave van de Trio8 nog verder te verbeteren.



Foto 1: Alpair 5



Foto 2: CSS Trio 8

De kast

Veelal zitten bij meerweg systemen alle drivers in een kast. Dit is makkelijker te maken, maar heeft veelal compromissen tot gevolg omdat een kast voor een woofer andere eisen stelt dan die voor een middentoner. Daarom is er voor dit ontwerp gekozen voor een luidpreker waarbij elke driver in zijn eigen kast zit. En dat dit optisch ook mooi in het design past is uiteraard mooi meegenomen.

Een belangrijke eis aan de kasten is dat deze niet meetrillen met de driver. Eén van de beste methoden om dit te bewerkstelligen is te zorgen dat de eigenfrequentie van de behuizing niet in het werkzame frequentiebereik ligt van de driver. Voor de baskast is dat in dit ontwerp bereikt door een niet te zware houtsoort (vuren timmerpanelen, 18 mm dik) te combineren met veel verstevigingen. Hierdoor zal de eigenfrequentie naar boven opschuiven en zo niet door de driver aangeslagen kunnen worden.

Voor de midkast is er voor gekozen deze relatief dunwandig (12 mm) uit te voeren, en deze wanden te verzwaren met loodbitumen. Hierdoor zal de eigenfrequentie omlaag gaan, en kost het relatief veel energie om de kastwanden in trilling te krijgen. Immers trillingen in het midden gebied hebben niet zo veel energie-inhoud. Tevens is er op de wanden vilt aangebracht. Om de door de achterkant van de driver afgestraalde muziek (de zgn. backwave) goed te dempen is het inwendige van de midkast uitgevoerd als een opgevouwen hoorn, waarin veel demping in het einde van de hoorn is aangebracht. Dit zorgt er voor dat de backwave zeer effectief wordt gedempt waardoor de zuiverheid van de midweergave sterk wordt verbeterd t.o.v. traditionele rechthoekige midkasten.

Om tegen te gaan dat de trillingen van de baskast worden overgedragen aan de midkast, is de laatste niet vast

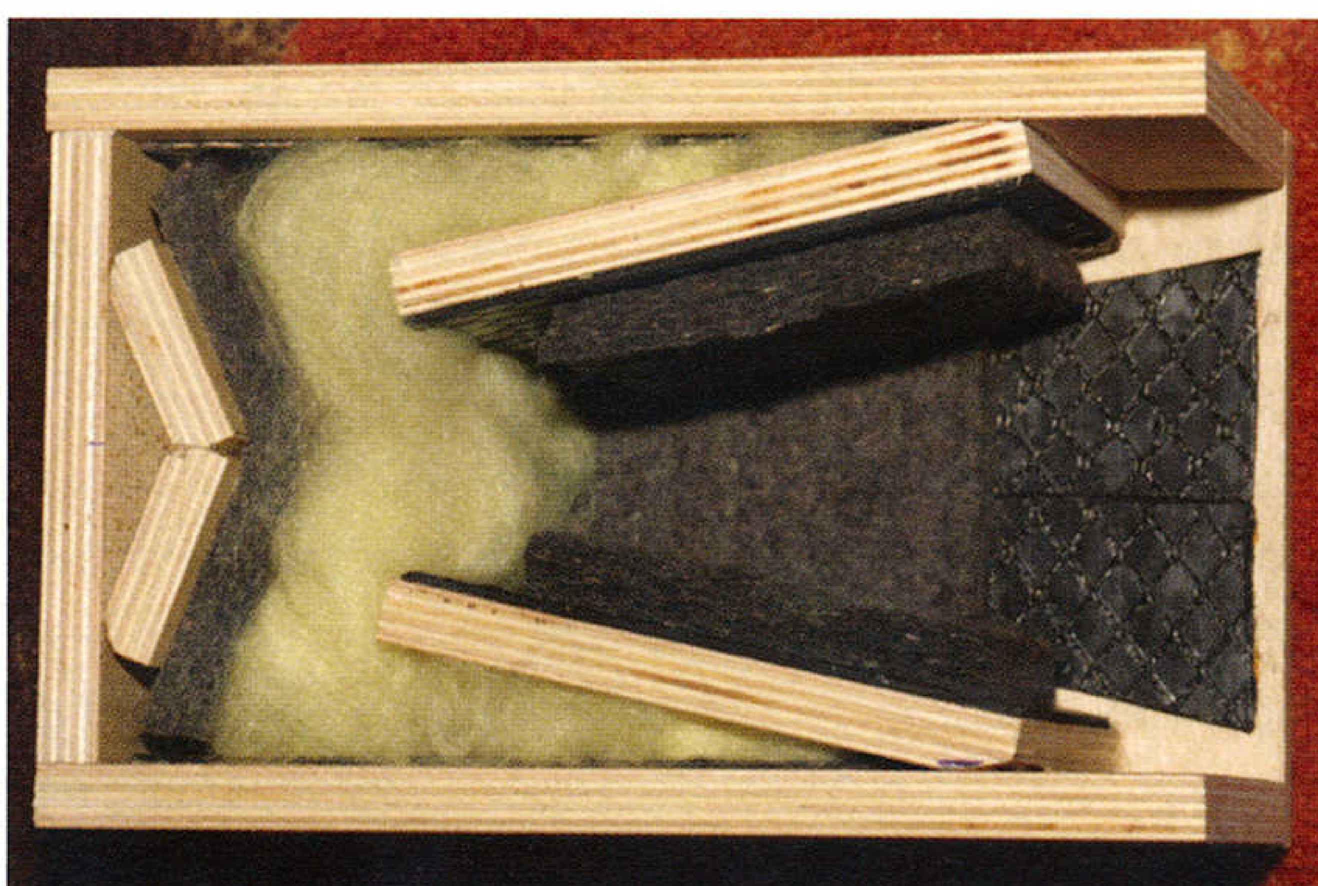
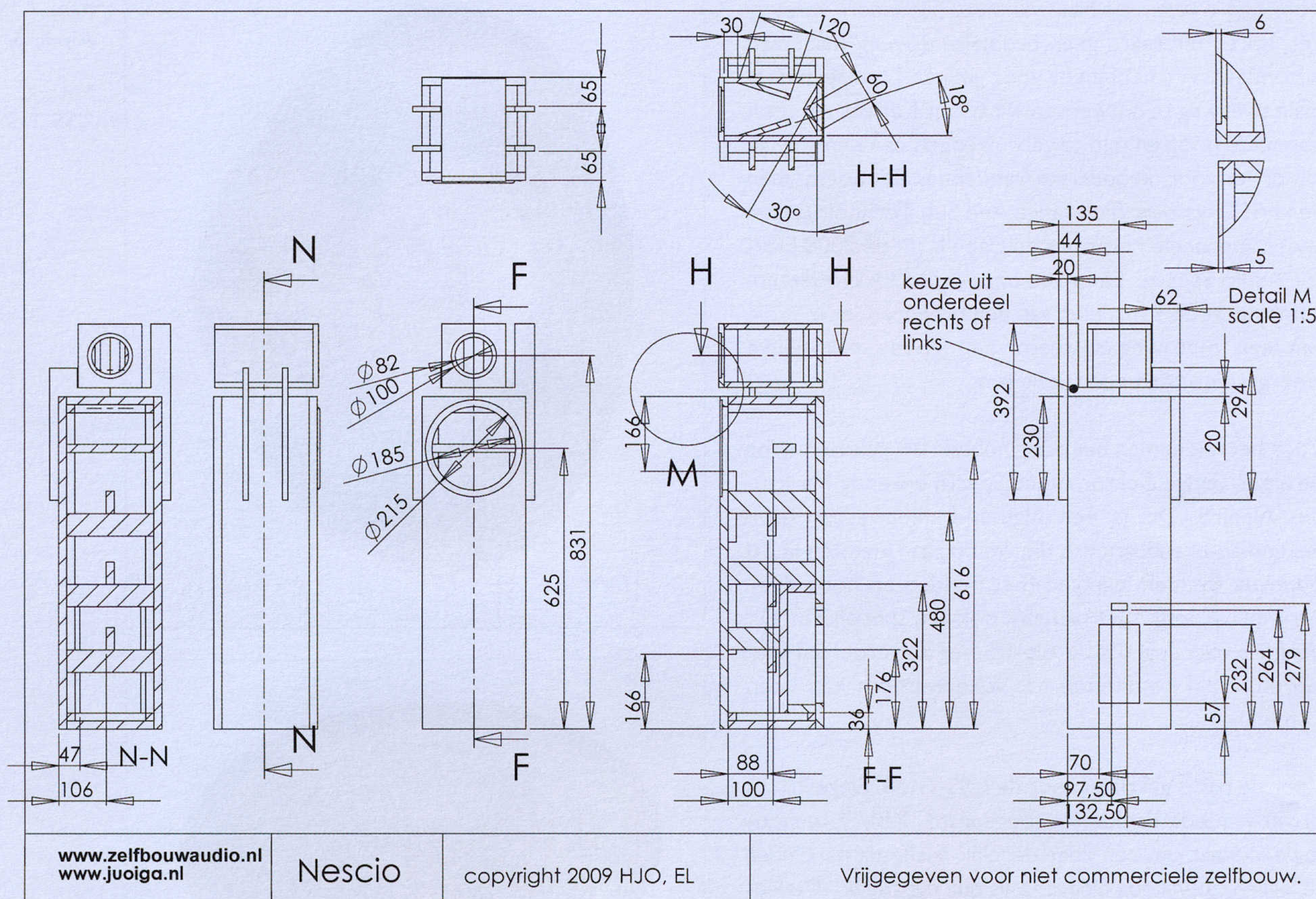


Foto 3: De kast



Figuur 1: **Bouwtekening**

op de baskast gemonteerd, maar ligt deze op een laagje gestolde siliconenkit; ook dit zorgt voor een zuiverder midweergave. Al deze maatregelen samen, in combinatie met het LR4 fiter, zorgen er voor dat de kasten zeer doeltreffend vrij van trillingen zijn, zelfs met zware persussie op hoog volume is er amper een merkbare trilling van de baskast of van de midkast waarneembaar.

In de bouwtekening is de opbouw van de luidspreker te zien. Het ontwerp is zo opgezet dat de opbouw voor een houtbewerker met enige ervaring goed te doen is. Voor de opbouw is geen bijzonder gereedschap nodig, een (cirkel)zaag, lijmklemmen, een boormachine, een decoupeer- of figuurzaag en een schroevendraaier volstaan voor de montage. Voor het verzinken van de drivers is een bovenfrees aan te bevelen.

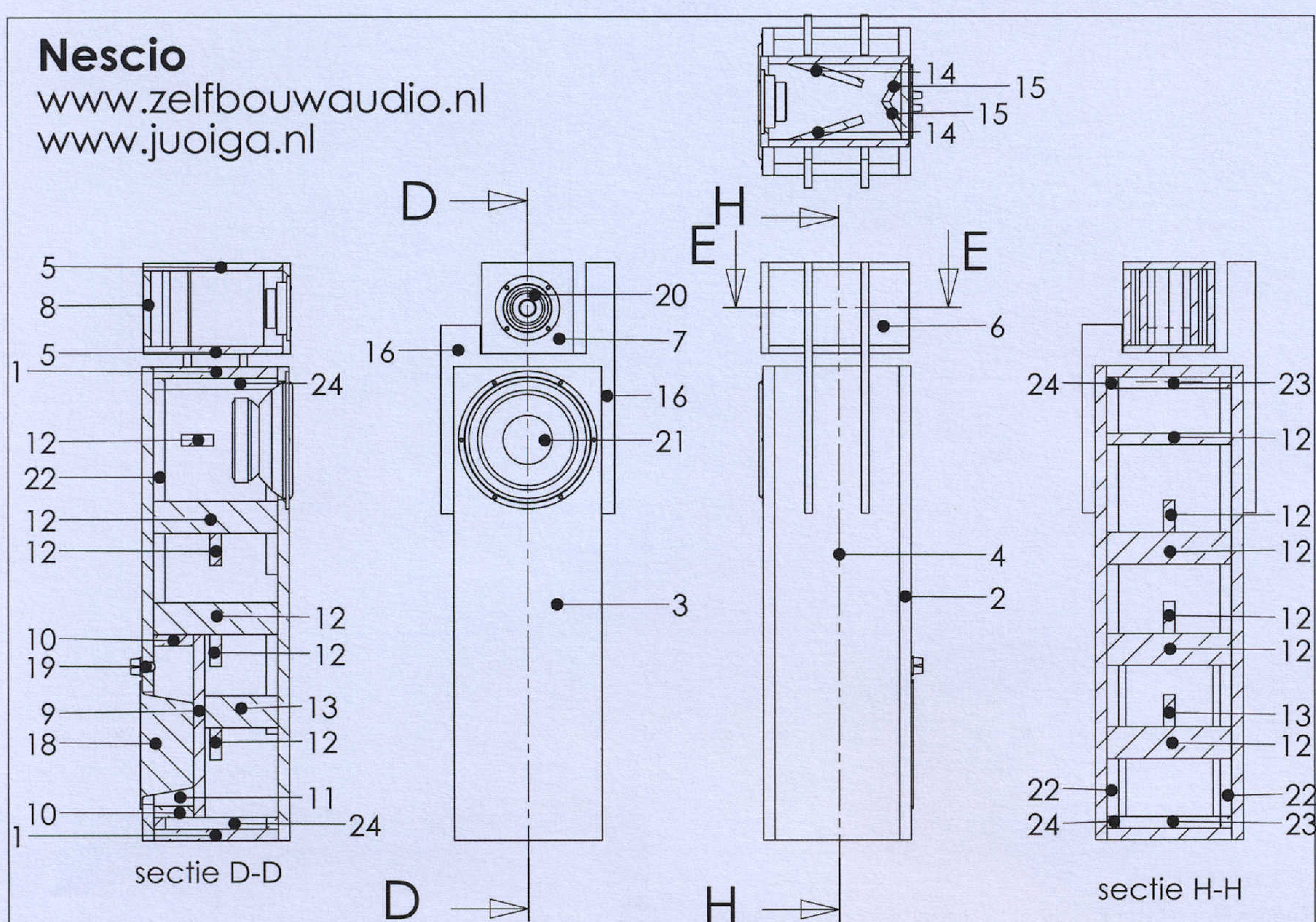
Het filter

Het gehele wisselfilter is uitgevoerd in de DSP van de AS2/100, er zit geen enkel passieve component in. De gekozen aanpak is als volgt: eerst is er aan de hand van de nabije veld meting de response van de woofer in de laagste octaven zo gemaakt als we 'm hebben willen. Onder andere is een correctie toegepast om de weergave nog lager en 'strakker' laten te gaan: met een zogenaamde Linkwitz transform (zie http://www.linkwitzlab.com) is de response afgestemd op een Gaussische afstemming (critisch gedempt) bij 30 Hz. Dit zorgt voor een zeer goed impulsgedrag en een zeer zuivere en diepe bas. Vervolgens werden zowel de respons van de mid als van de bas gecorrigeerd voor de baffle step en werd een enkele resonantie onderdrukt. Dit levert voor elke driver een vlakke response curve op tot enkele octaven voorbij het overnamepunt. Vervolgens werd een traditionele LR4 filtering op de beide drivers uitgevoerd met 300 Hz als middenfrequentie. Op http://www.juoiga.nl zijn de bestanden met daarin de opgeslagen filters voor de Hypex DSP software te downloaden.

Nu klinkt dit alsof het met een DSP een druk op de knop is om tot een net wisselfilter te komen, maar er gaat minstens zo veel meet- en luisterwerk inzitten als in een passief filter. Het grote verschil zit met name in de extra mogelijkheden die een DSP biedt ten opzichte van passief filteren. Een Linkwitz Transform is bijvoorbeeld passief al helemaal niet mogelijk, en het doelgericht corrigeren van kleine resonanties is ook iets dat met een DSP gewoon veel beter gaat dan passief. Ook de mogelijkheid om met een lage overname frequentie toch steil te filteren zonder dat dit een zeer groot bedrag aan grote passieve componenten kost is een voordeel van de DSP. Tijdens de ontwikkeling van het filter is een DSP een erg efficient stuk gereedschap, met enkele muisklikken is het filter aangepast, waar anders flink gesoldeerd moest worden.

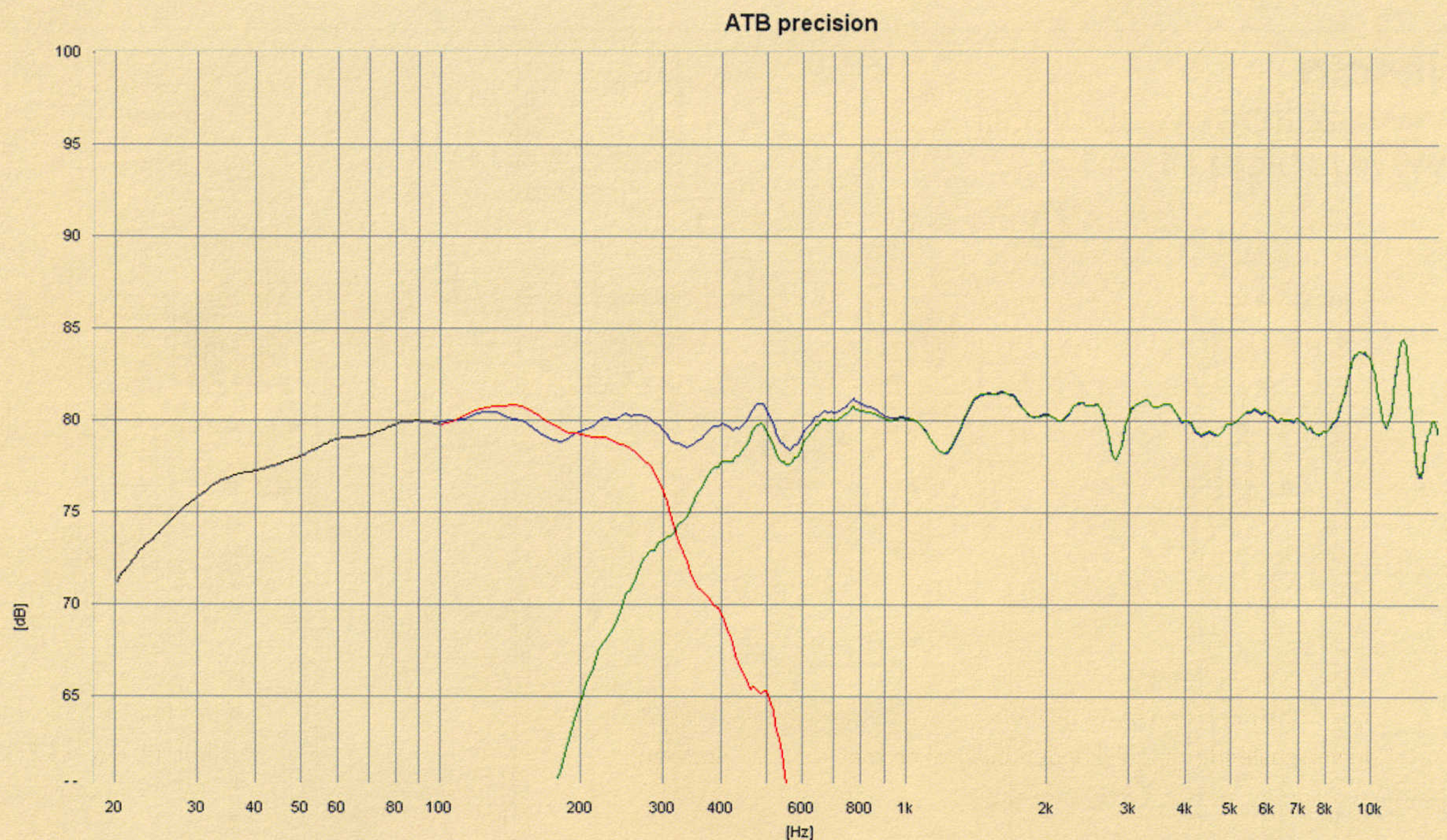
Meten

Het meten en de afstemming van het filter is gedaan in de anechoïsche meetkamer van Speakerland te Oss (zie http://www.speakerland.nl), waarvoor dank aan Ruud Jansen verschuldigd is voor de medewerking aan het tot stand komen van deze luidspreker.



stuk nr.	benaming	afmetingen	materiaal	opmerkingen	aantal
1	baskast onder en boven	194 x 194	18 mm vuren		2
2	baskast achter	740 x 230	18 mm vuren		1
3	baskast voor	740 x 230	18 mm vuren		1
4	baskast links en rechts	740 x 194	18 mm vuren		2
5	midkast onder en boven	218 x 142	12mm multiplex/mdf		2
6	midkast links en rechts	118 x 218	12mm multiplex/mdf		2
7	midkast voor	142 x 142	12mm multiplex/mdf		1
8	midkast achter	118 x 118	12mm multiplex/mdf		1
9	hypex achter	286 x 136	18 mm vuren		1
10	hypex boven en onder	100 x 62	18 mm vuren		2
11	hypex rechts en links	286 x 62	18 mm vuren		2
12	basbox bracing 1	194 x 50	18 mm vuren		6
13	baskast bracing 2	114 x 50	18 mm vuren		1
14	midkast schot 1	118 x 120	12mm multiplex/mdf	bemating in tekeningen	2
15	midkast schot 2	118 x 60	12mm multiplex/mdf	bemating in tekeningen	2
16	buitenbracing 1	135 x294	12mm multiplex/mdf	bemating in tekeningen	4
17	buitenbracing 2	135 x 392	12mm multiplex/mdf	bemating in tekeningen	4
18	Hypex as2.100				1
19	Hypex as2.100 keypad				1
20	allpair 5				1
21	Css trio 8				1
22	hoeklatje achter verticaal	704 x 18	18 mm vuren		2
23	hoeklatje voor en achter	158 x 18	18 mm vuren		8
24	hoeklatje zijkant	176 x 18	18 mm vuren		4

Allereerst moet worden opgemerkt dat de hier gepresenteerde curve de waarheid onbewerkt weergeeft, waarbij ook de schaal zo is dat elk detail goed zichtbaar is, dit in tegenstelling tot de meeste door fabrikanten gepubliceerde curves. We zien een mooi vlakke curve, met een diep doorlopend, vlak afvallend laag. We zien echter ook nog een aantal kleine pieken en dalen, die op het eerste gezicht aan de aandacht van de DSP zijn ontsnapt, maar dat zijn diffractie restanten die niet met een filter te corrigeren zijn zonder meer kwaad dan goed te doen. Het 'onrustige' hoog is typisch voor het type luidspreker, een breedbander meet in dit gebied nooit helemaal vlak. Daarnaast is een oplopend hoog in de bovenste octaaf deel van het karakter van de Alpair5. Daarom is er voor gekozen om dit niet geheel te corrigeren in de DSP, maar om het allen ietwat te 'temmen' om zo de klankbalans mooi neutraal te krijgen zonder dat het karakter van de Alpair verloren gaat.



Luisteren

Tijdens het luisteren valt al hetgeen hierboven geschreven is op z'n plaats: de weergave van het hoog is gedetailleerd en helder, maar zonder enige scherpte. De fijnste details in de muziek zijn hoorbaar, de brushes op het vel van de snare, de positie van de snaren op een gitaar, zelf in het applaus van concertopnames zijn de individuele handen te horen.
Het laag is indrukwekkend diep en zuiver en ook hier zijn fijne details ineens hoorbaar. Een contrabas of orgel komt ineens tot leven, onvoorstelbaar welke informatie er toch allemaal in de onderste octaaf aanwezig is.

De ruimtelijkheid behoort tot het beste dat haalbaar is. Bij conventionele luidsprekers blijft de muziek in de kast vastzitten, hier komt het echt los. Doe je ogen dicht en de speakers verdwijnen compleet, de muzikanten staan live voor je in de woonkamer, elk orkestlid is plaatsbaar. De combinatie van een top breedbander met een echt goede laagweergave (de onderste octaaf is zeer belangrijk ook voor de ruimtelijke afbeelding) maken de beleving van de muziek tot een waar genot, voor een nog realistischer muziekweergave moet je naar de concertzaal.

Specificaties

Naam:	Nescio
Principe:	Tweeweg gesloten
Ontwerp:	Henkjan Olthuis
Design:	Ewoud Luppens
Drivers:	Markaudio Alpair5, CSS Trio8 (zie http://www.juoiga.nl)
Filter:	Actief middels DSP in de Hypex AS2/100 (zie http://www.hypex.nl)
Afmetingen:	900x270x230 mm hoogte x breedte x diepte
Prijs:	vanaf € 500,- per stuk



AS-1 "Ouderwets" goed

Auteurs: Taco Dijkstra, Jelke Dijkstra

DOOR RENÉ HOUTHUYZEN

Gaat het hier om een ouderwetse luidspreker zult u misschien denken, natuurlijk niet. Het lijkt daar misschien op, echter de gekozen luidsprekers en afstemming zijn zeker niet doorsnee. De auteurs zullen laten zien dat met oude technieken en moderne luidsprekers units resultaten kunnen worden behaald die zeker niet ouderwets zijn.

Een tweeweg luidspreker systeem met een 20 cm diameter midbas werd in het verleden veel vaker toegepast dan in huidige tijden. Dit omdat in het verleden veel minder geschikte midbas luidsprekers met kleine diameters bestonden. Tegenwoordig zijn er veel 18 cm en zelfs enkele 15 cm exemplaren die deze rol kunnen vervullen zonder al te veel hoeven in te leveren in de maximale geluidsdruk of de onderste grens frequentie. Tegelijkertijd zijn de 20 cm luidsprekers ook sterk verbeterd, waardoor het nu goed mogelijk is om een compact tweeweg systeem te maken welke niet veel groter uitvalt dan een tweeweg met bijvoorbeeld een 18 cm midbas, terwijl tegelijkertijd de kwaliteiten van een drieweg ontwerp op het gebied van dynamiek en transparantie worden benaderd.

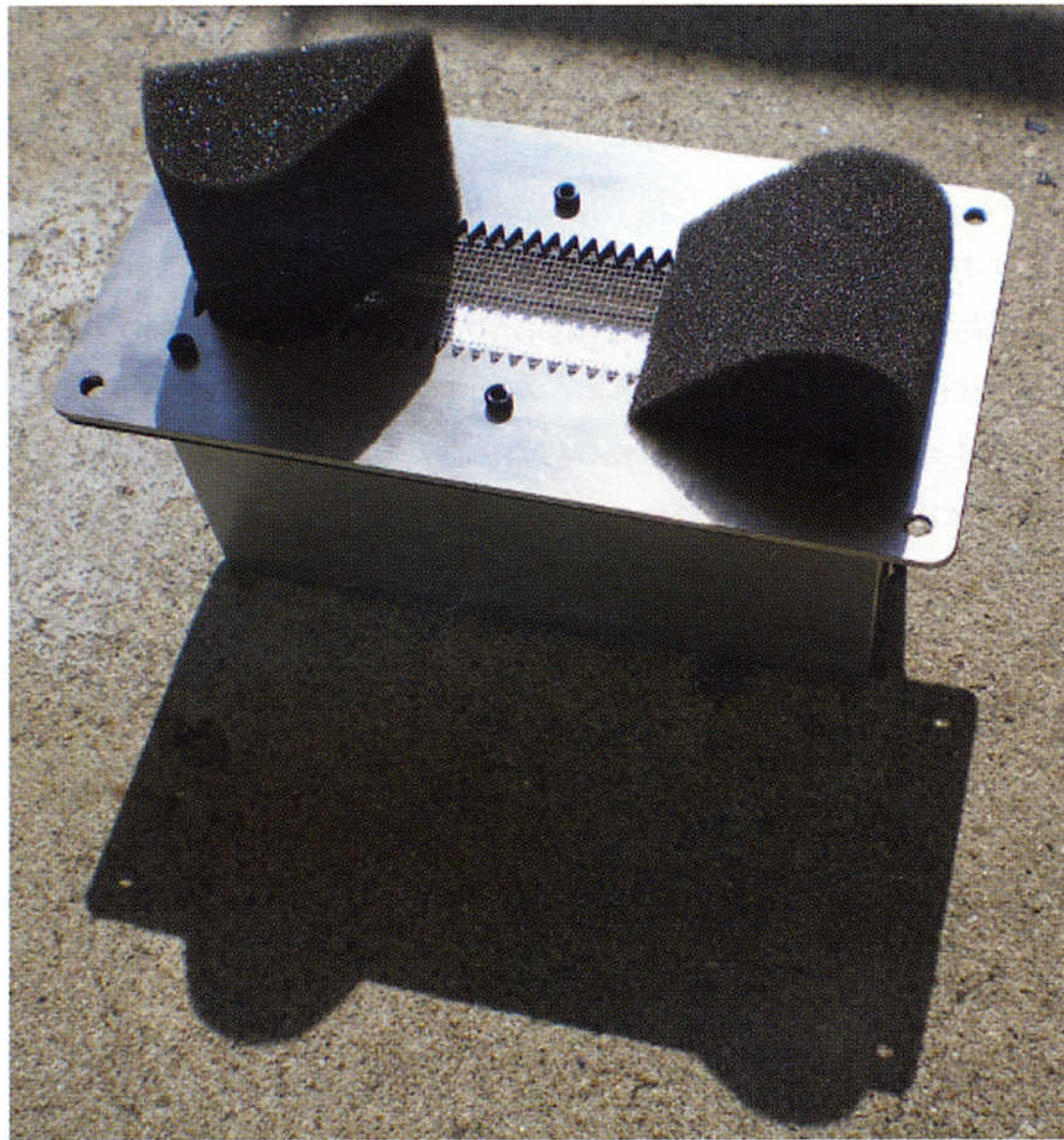
Naast de keuze voor de afmetingen van de midbas is ook de afstemming niet nieuw. De gebruikte Acoustic Suspension (AS) afstemming stamt namelijk al uit de jaren vijftig. Deze afstemming is als eerste ontwikkeld en toegepast door de firma Acoustic Research. Het idee achter AS is om de stijfheid van de luchtveer in de behuizing significant veel groter te kiezen dan die van de luidspreker driver zelf, oftewel $V_b < 1/3\ V_{as}$. Hierdoor domineert de relatief lineaire luchtveer het gesommeerde gedrag van driver en behuizing. De ophanging van een luidspreker (spider en rolrand) gedragen zich bij grote membraam excursies minder lineair dan deze luchtveer (alhoewel dit bij moderne luidsprekers al een stuk beter is dan bij de exemplaren uit de periode waarin acoustic suspension werd geïntroduceerd). Dit type kast afstemming geeft een zeer precies en gecontroleerd laag.

Het gebruik van een grote midbas in een tweeweg beperkt de keuze van het aantal bruikbare tweeters. Akoestisch gezien bepaalt de diameter van de conus de dispersie karakteristiek. Wanneer de golflengte van het geluid die van de afmeting van de bron nadert, de diameter, zal het geluid gaan bundelen. In het algemeen geldt dus dat voor een grotere membraam diameter deze overgang van uniform rondstralen tot gebundeld afstralen al bij een lagere frequentie begint. Voor een uniform rondstralen van het luidspreker systeem is het daarom nodig dat de woofer tijdig wordt afgelost door de tweeter. In het geval van een 20 cm midbas zou dit idealiter al onder de 2 kHz moeten plaats vinden. Er zijn verscheidene dome tweeters met een diameter van 28 mm in de handel waarvoor een laag overnamepunt geen probleem vormt, echter dit gaat in de meeste gevallen ten koste van de belastbaarheid. Met een stralend oppervlak van slechts 7 cm^2 zal de maximale excursie, door het lage overname punt, sneller worden bereikt. Dome tweeters met een nog groter oppervlak beginnen zelf al problemen te krijgen met het afstralen boven 10 kHz en bieden dus geen oplossing. Een alternatief zou kunnen zijn om een band tweeter te gebruiken, deze kunnen een veel groter membraam oppervlak hebben. De excursie van bandtweeters is beperkt, echter door te kiezen voor een exemplaar met een aanzienlijk membraam oppervlak, vormt dit geen enkel probleem.

Luidspreker keuze

Een nadeel van de acoustic suspension afstemming is dat door een relatief klein volume te kiezen de afstemfrequentie fb en de qb relatief hoog uitvallen, dat wil zeggen fb = 2fs en qb = 2qts. Om in dat geval een luidspreker met een goed gedempte en voldoende laagweergave over te houden zal er een driver benodigd zijn met uitzonderlijk lage waardes voor fs en qts. Dit soort units worden helaas praktisch niet meer aangeboden. De driver parameters van het merendeel van de huidig aangeboden drivers is namelijk geoptimaliseerd voor de meer efficiënte basreflex afstemming. Eventueel kan een bestaande woofer worden aangepast, bijvoorbeeld door de spider te perforeren, echter dit komt de reproduceerbaarheid van dit project niet ten goede. De oplossing is gevonden in een maatwerk midbas van de leverancier Audiotechnology. Deze Deense fabrikant is bekend geworden om zijn hoogwaardige woofers met polypropyleen conussen (tegenwoordig zijn er van sommige types ook sandwich papier conussen leverbaar). De Flex units van deze fabrikant, de naam geeft het al aan, zijn vrij te configureren. Binnen de keuze mogelijkheden van Audiotechnology is er gekozen voor een basis 8I Flex unit met polypropyleen conus, waarvan de onderdelen van de ophanging zijn aangepast. Zonder daarbij concessies te doen aan de oorspronkelijke membraam massa en lineaire slag is een, voor acoustic suspension, geschikte driver tot stand gekomen.

Er zijn verschillende grote bandtweeters op de markt welke een lage, dat wil zeggen < 2000 Hz, scheidings frequentie mogelijk maken, maar de keuze is gevallen op nieuwkomer Raal. In tegenstelling tot veel van zijn concurrenten wordt er geen gebruik gemaakt van een gevouwen folie, maar van een rechte folie met een oppervlakte van maar liefst 21 cm². Het rechte membraam blijft ten alle tijden binnen het magneetveld, dit zorgt voor uitstekende belastbaarheid en lage vervormingen. Een ander voordeel van de Raal, naast de lage vervormingen, is de beperkte bundeling van hoge frequenties. Dit is bereikt door de voorplaat extra dun te houden, de band ligt hierdoor niet extra verdiept zoals bij veel andere bandtweeters het geval is. De speciale gevormde schuim pads, welke als akoestische weerstand fungeren, controleren het verticale afstraal patroon. Zonder deze pads loopt het hoog van de tweeter op, met de toegevoegde weerstand wordt een vlakke curve verkregen. De pads zitten niet vast aan de tweeter, ze zijn voorzien van een klein stripje magnetisch materiaal (niet zichtbaar), en worden vastgehouden door het magneetveld van de tweeter. Dit maakt het mogelijk de posities bij te stellen, om zo het gewenste verticale afstralen te verkrijgen.



Schuim pads verbeteren de verticale afstraling

Behuizing

Acoustic Suspension is niets meer dan een "te kleine" gesloten kast in combinatie met een los opgehangen woofer. In het huidige ontwerp is gekozen voor een kastvolume gelijk aan 1/3 Vas. Voor dit ontwerp resul-

Afbeelding 1: **Bouwtekening van de luidspreker, maten in mm**

teert dat in een afstemmingsfrequentie fb van ongeveer 45 Hz. Door de gemoedelijk 2e orde (12 dB/octaaf) laagafval van een gesloten systeem in combinatie met de room gain is er voldoende laag voor de meeste luister ruimtes. Een waarschuwing vooraf: voeg in geen geval een basreflex poort toe om extra laag fundament te krijgen. De uiterst soepele ophanging van deze maatwerk woofer is daar niet voor geschikt en kan in het ergste geval door de slechte demping gepaard met grote excursies, welke iedere basreflex behuizing heeft bij frequenties lager dan de poortafstemming, beschadigd raken.

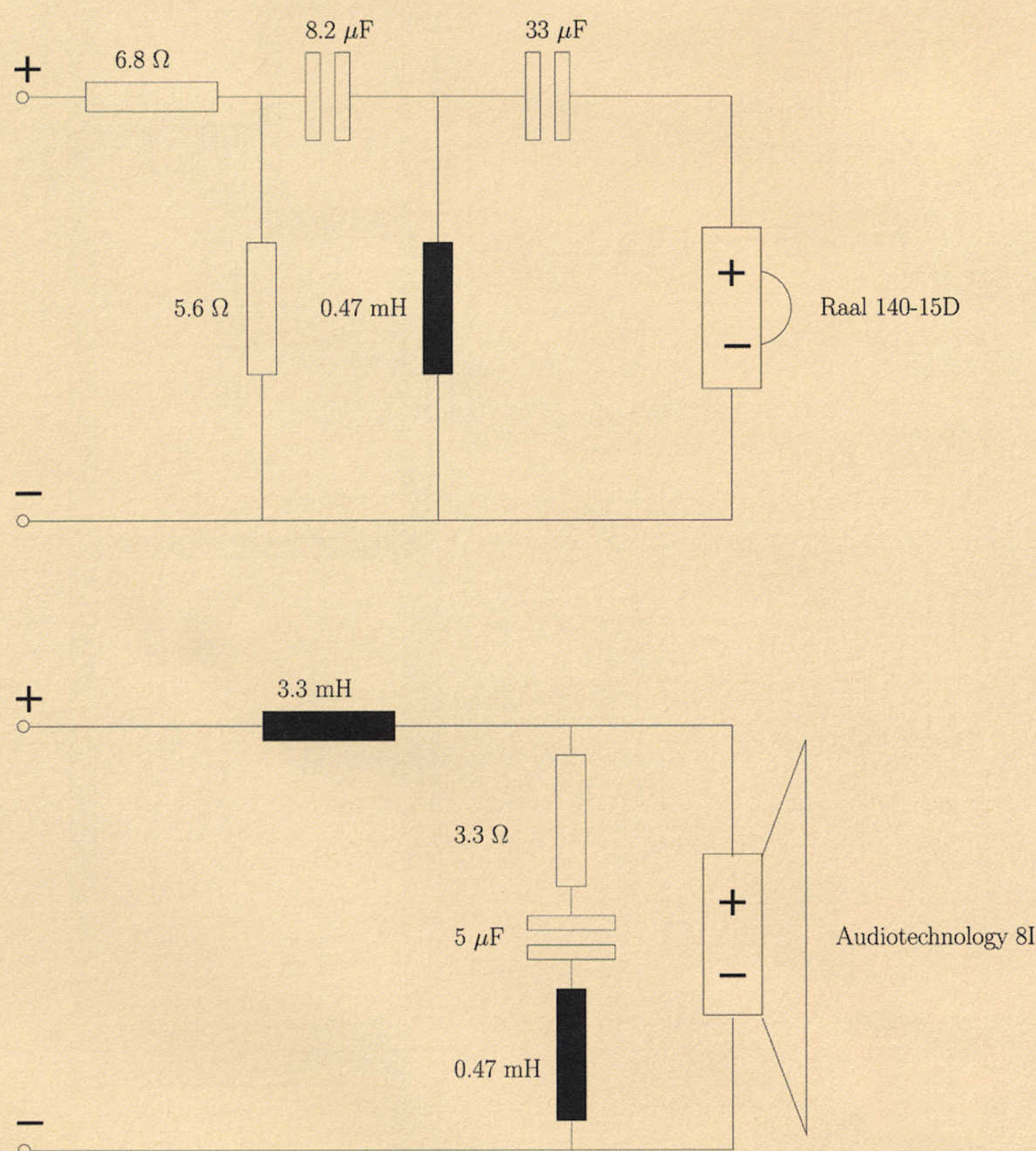
De kast, weergegeven in de bouwtekening, is een kleine vloerstaander. Deze zou eventueel ook prima als monitor gebouwd kunnen worden. Let er in dat geval dan wel op dat de breedte van de kast gelijk blijft aan het huidige ontwerp. Het scheidingsfilter werkt namelijk niet meer optimaal voor behuizingen welke te veel (ongeveer 10%) afwijken in breedte. Ook is het verstandig om de tussen afstanden van de tweeter en woofer te behouden, het gegeven filter functioneert minder goed als hiervan wordt afgeweken.

Er zijn verschillende diktes MDF plaatmateriaal in de kast verwerkt. De meeste bouwmarkten verkopen niet het voor de baffle benodigde 30 mm MDF. De beter gesorteerde houthandel zou deze dikte wel in het assortiment moeten hebben. Indien niet verkrijgbaar dan kan de voorkant ook samengesteld worden uit twee platen van respectievelijk 22 mm en 8 mm dik MDF. De andere panelen zijn vervaardigt uit 22 mm en het binnenwerk is gemaakt van 18 mm MDF.

Achter de aparte kamer voor de tweeter, boven in de kast, is een tweede ruimte welke in verbinding staat met de ruimte van de woofer doormiddel van een ronde uitsparing. Deze ruimte is een Helmholtz resonantor, afgestemd op de staande golf (216 Hz) welke over de hoogte van de behuizing staat. De Helmholtz dient de staande golf te dempen, de inhoud en de afmetingen van de poort bepalen de afstemfrequentie op een vergelijkbare wijze als de afstemming van een basreflex poort. Het is dus belangrijk om de aangegeven 18 mm paneeldikte te gebruiken aangezien dit de lengte van de poort is. De afstemming zal veranderen als hiervan wordt afgeweken. Hetzelfde geldt voor de diameter van de opening deze moet 44 mm bedragen. Voor het goed functioneren van de Helmholtz dient deze vol met demping gestopt te worden. Hier kunnen bijvoorbeeld polyester watten voor worden gebruikt. De Helmholtz dient te worden aangepast of geheel weggelaten te worden indien er voor een behuizing met andere afmetingen wordt gekozen. De staande golf in een kleinere kast is hoger in frequentie welke zich beter laat dempen met alleen wat dempingsmateriaal in het woofer compartiment.

Om kast diffractie te minimaliseren zijn afrondingen aangebracht op de hoeken van de kast en loopt de kast taps toe aan de bovenkant. De afrondingen zijn fors, en niet met elke bovenfrees te maken, probeer in ieder geval deze zo groot mogelijk te maken. De knik in de zijkanten moet geen problemen geven deze is met bijna alle (hand) cirkelzagen probleemloos te maken. Voor een naadloze aansluiting van de voorkant op de rest van de kast is het handig om de baffle 2 mm groter te zagen dan getekend. Vervolgens wordt de baffle op de rest van de kast gelijmd waarna deze exact op maat gemaakt kan worden met behulp van een bovenfrees die is uitgerust met een kopieerfrees.

Afbeelding 2: Scheidingsfilter

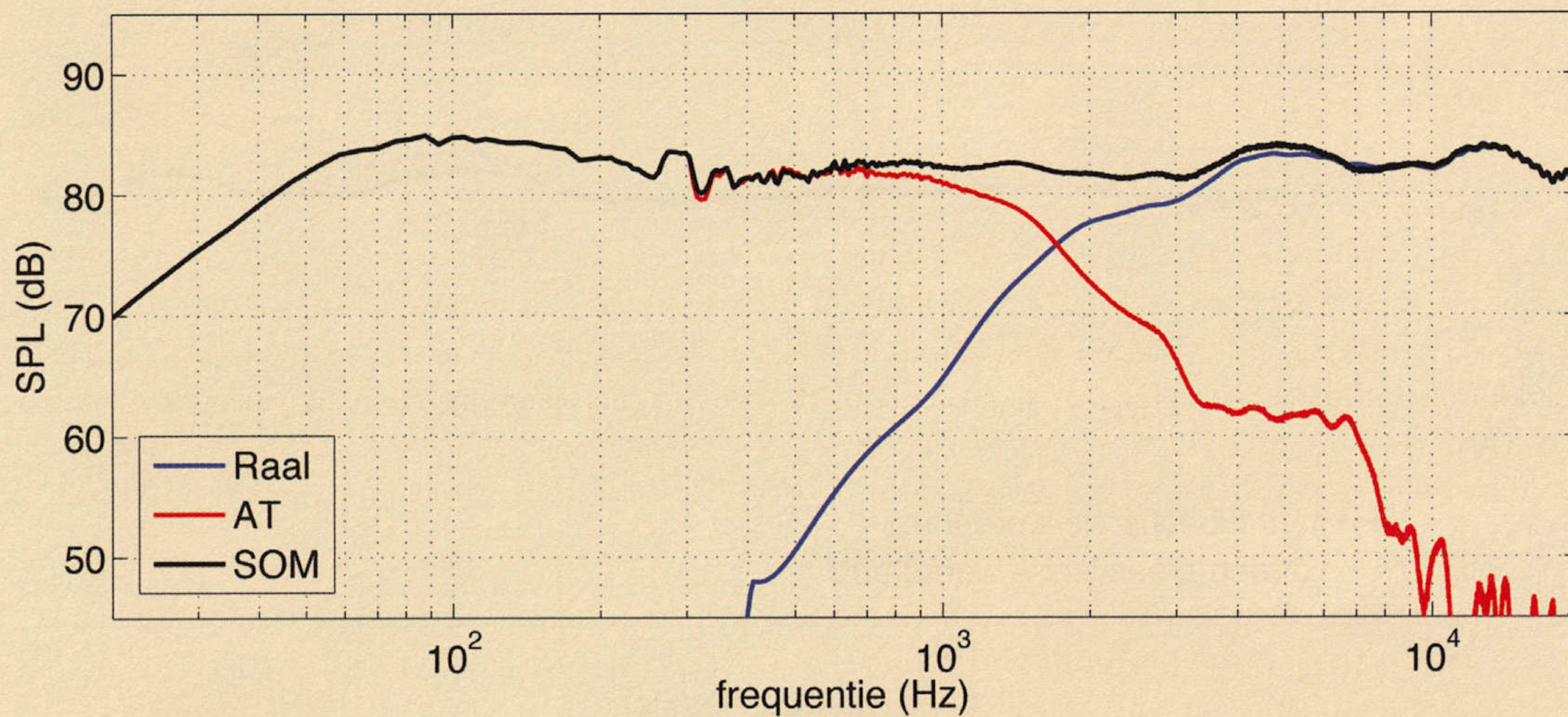


Naast de demping in de Helmholtz, moet ook het laag volume voorzien worden van demping. De wanden dienen te worden bekleed, bijvoorbeeld met 4 mm vilt (ondertapijt) of Pritex. Als aanvulling hierop moet het volume ook nog worden voorzien van lichte vulling met wol of polyester watten. Met de vullingsgraad kan geëxperimenteerd worden, om een laag afstemming te krijgen die het beste bij de gebruikte ruimte en apparatuur past.

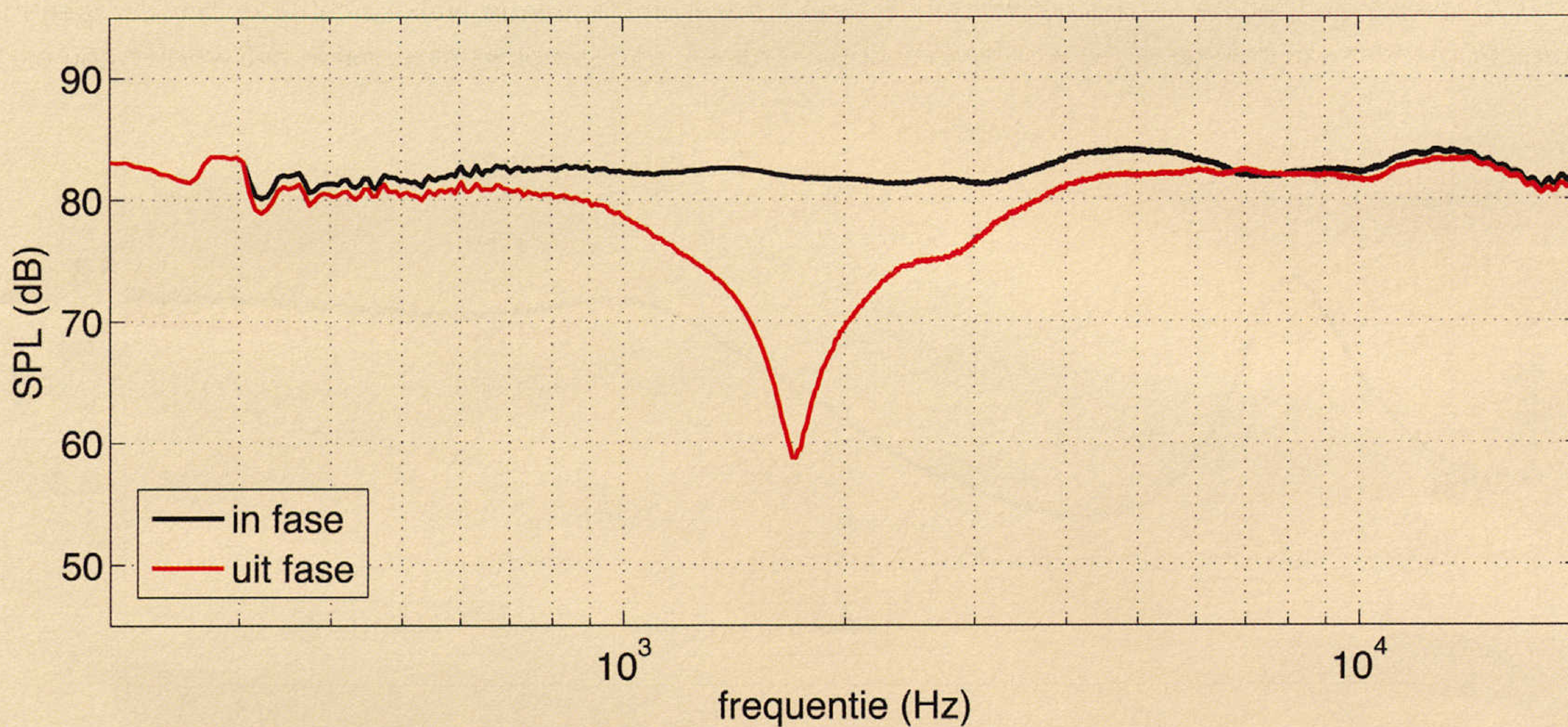
Er is geen aparte ruimte gecreëerd voor het scheidingsfilter, dit kan eventueel makkelijk aan de onderzijde worden toevoegd. Echter het aantal en de afmetingen van de benodigde componenten in het scheidingsfilter zijn beperkt en kunnen zonder veel moeite worden gemonteerd op de bodemplaat van de kast. Om toegang tot het filter te behouden is het aan te raden om de bodem alleen met schroeven te bevestigen en deze niet te verlijmen. In dat geval is het handig om hiervoor aan de onderzijde twee latjes aan de binnenzijde van de kast te lijmen waaraan vervolgens de bodemplaat bevestigd kan worden.

Scheidingsfilter

De gebruikte tweeter en midbas hebben samen meer dan genoeg overlap om deze twee zonder veel moeite aan elkaar te knopen. Het doel is, echter, om de afzon-



Afbeelding 3: Metingen van de individuele frequentie curves en de sommatie daarvan, met nearfield response < 300 Hz.



Afbeelding 4: Meting luidspreker, uit en in fase

derlijke kwaliteiten van beide units zo goed mogelijk te doen uitkomen. De output van de 8l loopt weliswaar door tot boven de 2 kHz, maar voor een zo goed mogelijk afstralen moeten we er voor zorgen dat we daar onder blijven. Dit kan prima doordat de Raal tweeter al inzetbaar is vanaf 1600 Hz als er gebruikt wordt gemaakt van een 3e orde elektrisch filter.

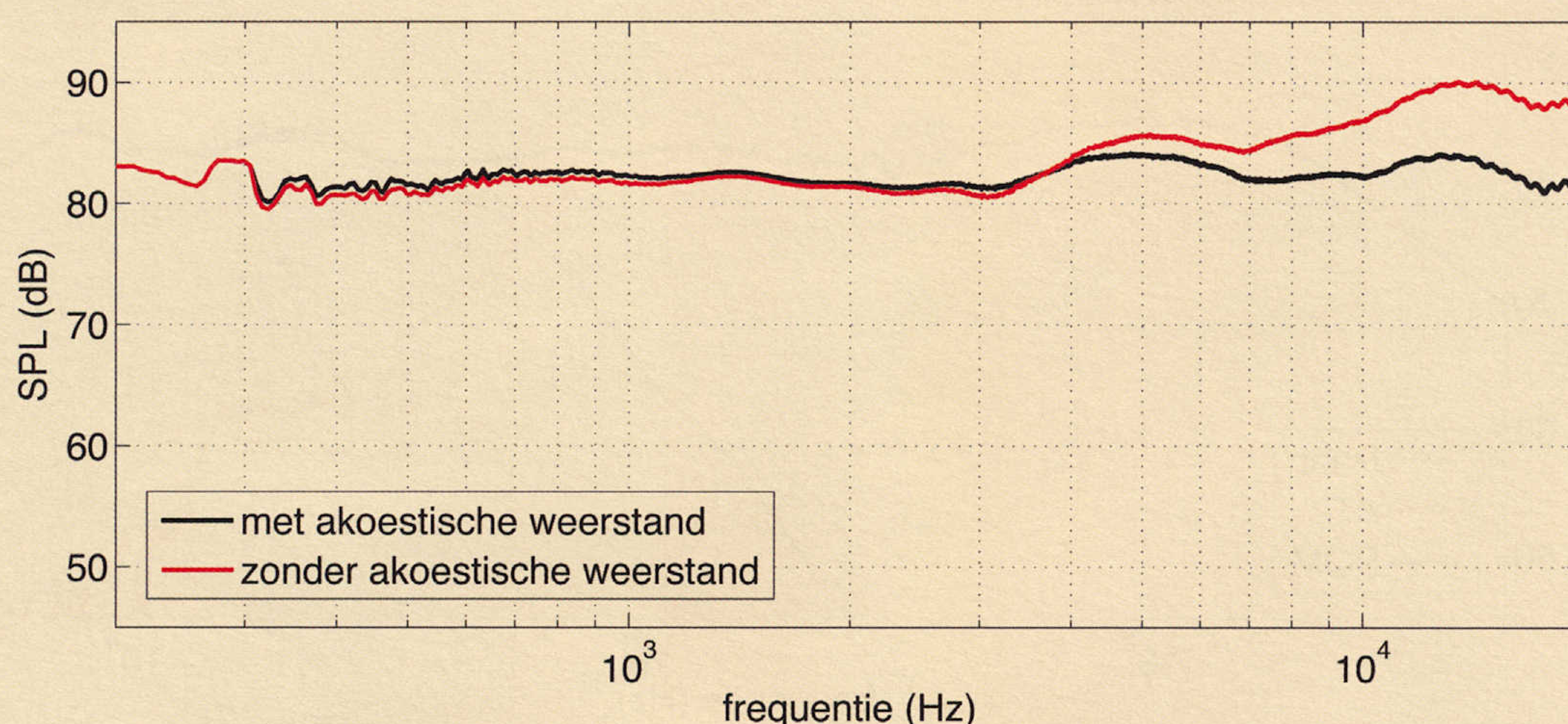
Het lage overname punt heeft als gevolg dat een spoel en condensatoren met hoge waarden benodigd zijn. Doordat de impedantie van de trafo in de Raal tweeter 2 mH bedraagt wordt er een spoel uitgespaard in de high pass voor de tweeter. De derde orde tweeter high pass vormt samen met de trafo in de Raal een elektrisch 4e orde filter. De woofer benodigd alleen een serie spoel van 3.3 mH met een extra zuigkring, welke het opbreken van de conus onderdrukt. Het is belangrijk om de condensator in deze zuigkring precies 5 uF te maken, de waarden 4.7 uF en 5.6 uF laten de afstemfrequentie te veel afwijken. Samen geeft dit een overname punt van 1700 Hz. De afzonderlijke filter curves en de gesommeerde curve is hieronder afgebeeld.

De metingen laten een vlak frequentie verloop zien in het overname gebied, als de fase van een van de units wordt omgepoold dan is een keurige uitnulling te zien. Het ietwat onrustige verloop van de tweeter is toe te schrijven aan het feit dat de metingen zijn gemaakt in een testkast waarin de tweeter nog niet helemaal vlak met de voorkant lag.

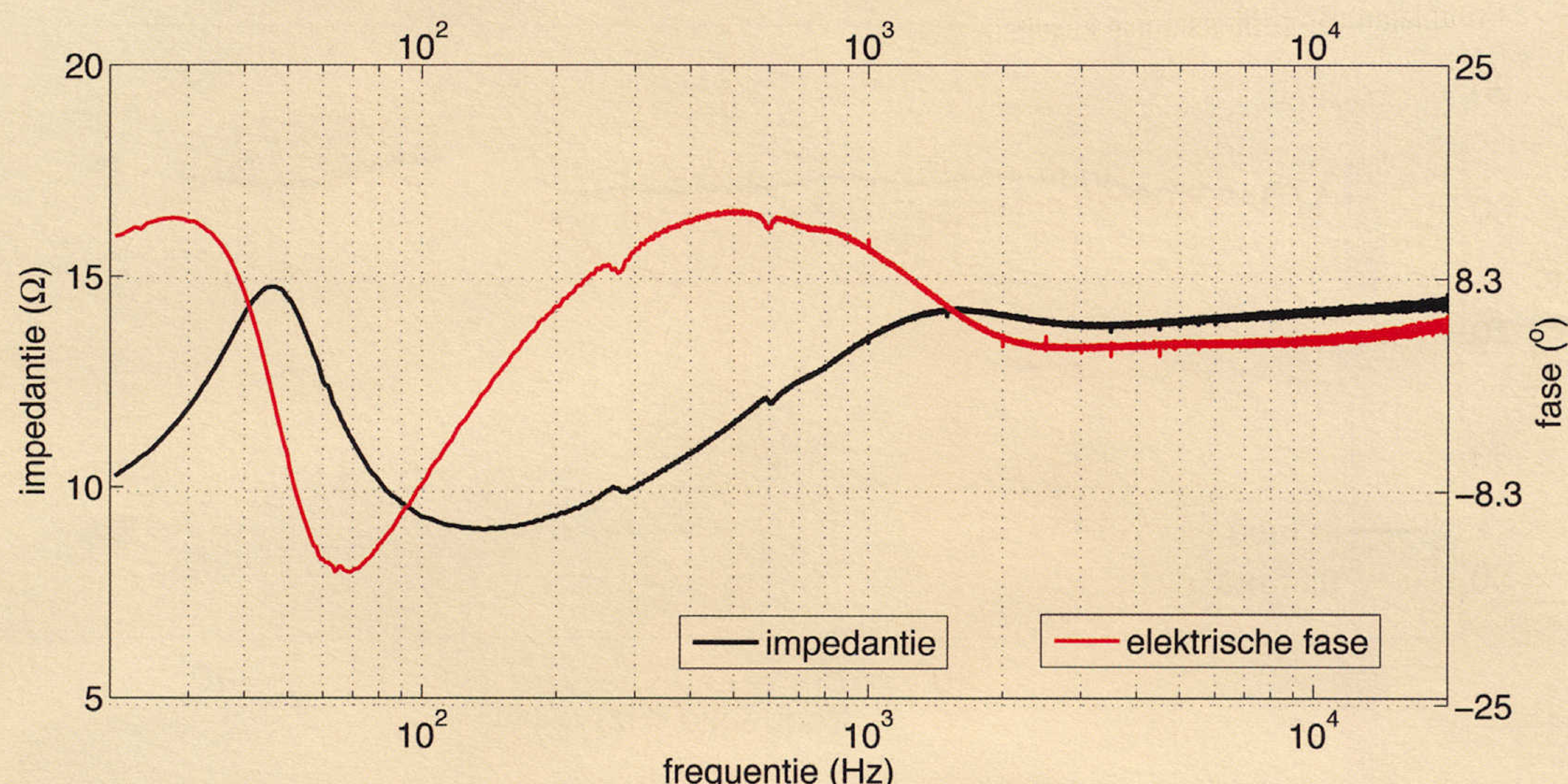
Alle metingen van de luidspreker zijn gemaakt met de schuim pads op de door Raal aangeven posities. Door de pads te verschuiven kan de tweeter output beïnvloed worden. Door de pads naar binnen te schuiven wordt een groter gedeelte van de band afgedekt en dit resulteert in het eerder afvallen van het hoog. Als de pads daarentegen naar buiten worden geschoven of helemaal worden verwijderd dan zal het hoog juist oplopen. De effecten van het weglaten van de pads zijn te zien in figuur hieronder.

In het filter wordt gecompenseerd voor de volledige baffle step van 6 dB, dit zorgt voor een laag systeem rendement van 83 dB W/m. Hierdoor is de luidspreker prima in een vrijstaande opstelling te gebruiken. Door het gemoedelijke impedantie verloop met een minimum van 9 Ohm op 138 Hz en minimale fase draaiïng, is het geen lastige luidspreker voor een versterker om aan te sturen. Al wordt het wel aangeraden om versterkers met minimaal 50W uitgangsvermogen te gebruiken om genoeg dynamiek reserve te hebben.

Afbeelding 5:
Raal tweeter met en zonder schuim pads.



Afbeelding 6:
Impedantie meting luidspreker



De gebruikte units komen echt tot hun recht als er goede spoelen en condensatoren worden gebruikt. Het wordt aangeraden om luchtspoelen met een lage interne weerstand te gebruiken. Voor de 8l kan bijvoorbeeld een Mundorf CFC 12 foliespoel gebruikt worden. Als alternatief kunnen ook kernspoelen met een gelamineerde ijzerkern, bijvoorbeeld de I-core spoelen van Mundorf, worden toegepast. Gebruik voor de tweeter goede kwaliteits condensatoren (MKP of beter), bij voorkeur dezelfde types voor beide in serie geschakelde exemplaren in de filter voor de Raal.

Het resultaat

Hoe klinkt nu een acoustic suspension systeem, klinkt dit nu totaal anders dan een goed afgestemd basreflex systeem? De afstemming sluit veel beter aan op de ruimte en hierin zit voornamelijk het verschil. Met de juiste opstelling, ontstaat een muziek plaatje welke zeer coherent is. Met een fraai doortekend middengebied en een uitermate natuurlijke presentatie van instrumenten en stemmen.

Specificaties:

Naam: AS-1
Principe: Acoustic Suspension
Ontwerp: 2-weg
Tweeter: Raal 140-15D
Woofer Audiotechnology: Flex 8l 52 20 08 SD (*)
Scheidingsfilter: 1700 Hz, 4e order akoestisch
Afmetingen: 0,91x0,267x0,313m (hxbxd)
Netto inhoud: 35 liter
Belastbaarheid: 150 Watt
Prijs per stuk: RAAL 140-15D € 435.00
Audio technology Flex unit: € 435.00
Scheidings filter: Vanaf € 70.00

(*) Aangepaste T/S, woofer verkrijgbaar bij Audiofabriek.

DSP Scheidingsfilter

In 2009 zijn wederom een aantal innovatieve produkten de revue gepasseerd die de zelfbouwer nieuwe mogelijkheden bieden om zijn of haar ideeën vorm te geven. Zo lanceerde Hypex, bekend van de UcD klasse-D versterker modules, de AS2/100, een tweeweg electronisch scheidingsfilter met DSP technologie (Digital Signal Processing) voorzien van een tweetal geïntergreerde UcD versterker modules van 100W uitgevoerd als plate-amp.



De Hypex AS2/100 op DSP technologie gebaseerde plate-amp.

Door de geavanceerde digitale signaalverwerking en de bijbehorende koppeling met de PC software kan de ontwerper nu met enkele muisklikken z'n scheidingsfilter vormgeven en eventuele onvolkomenheden wegpoetsen. Doordat de ontwerper de vrije hand heeft in de te kiezen filterhellingen en correcties kan men nu veel flexibeler omspringen met een ontwerp, daarnaast behoren correctie van de kamerakoestiek ook tot de standaard mogelijkheden, hierdoor wordt één van de grootste probleemgebieden, de akoestiek, eindelijk meegenomen en waar nodig gecorrigeerd in de weergave.

Hypex heeft met de lancering en de prijsstelling van de AS2/100 duidelijk het voortouw genomen in een markt die vooralsnog alleen bestaat uit aanbieders van kant-en-klare apparatuur met in de regel een (zeer) stevig prijskaartje. Op stapel staan echter nog een tweetal producten van Hypex met vergelijkbare functionaliteit, zoals een zes-kanaals DSP gestuurd electronisch scheidingsfilter en een high-end uitvoering van de AS2/100 waar men alles uit de kast trekt om een zo goed mogelijke weergave te garanderen.

Meer informatie: www.hypex.nl

Vifa, Scan-Speak en Peerless

Deze luidsprekerfabrikanten vertegenwoordigd door Audio Components timmeren al heel wat jaren aan de weg, vooral Vifa is een merk dat al decennia bij zelfbouwers gretig aftrek vindt door de gunstig geprijsde drivers met goede prestaties. Sinds de overname van Vifa door Tymphany heeft men veel van het oude produkt programma overboord gezet en is men vlijtig bezig geweest met de ontwikkeling van nieuwe drivers voorzien van moderne conusmaterialen, constructietechnieken en magneetsystemen. Een prima voorbeeld hiervan zijn de binnenkort leverbare NE25 tweeters van Vifa. Gebaseerd op een identieke ,met de eindige element methode berekende, Neodymium magneet systemen zijn de tweeters in deze reeks voorzien van verschillende conusmaterialen. Zo passeren titanium, aluminium, geweven textiel en keramiek de revue en heeft iedere tweeter zo z'n specifieke eigenschappen. Handig voor de ontwerper die met deze reeks drivers aan de slag gaat, daar de passing voor allen gelijk is en er dus puur naar de gewenste prestaties gekeken hoeft te worden.
Ook Scan-Speak pakt uit met exotische conusmaterialen en introduceert een tweeter, de D3004/664000, met een beryllium conus, een materiaal wat met recht een zeldzaamheid is en niet vaak gebruikt wordt. Daarnaast timmert men aan de weg met nieuwe aanvullingen op de populaire Discovery lijn, ondermeer met een 10-cm breedbander (10F/8424G00) en twee 22-cm woofers in 4- en 8-ohm, de 22W/4534G00 en 22W/8534G00, met zwarte glasfiber conus en een gevoeligheid van maar liefst 89dB. Andere interessante nieuwe drivers zijn een nieuwe 17-cm Illuminator (mid)woofer met een aluminium conus en een aantal 20- en 26-mm AirCirc tweeters.

Meer informatie: www.audiocomponents.nl



De Scan-Speak D3004/664000 beryllium tweeter, een unicum.



De nieuwe 22-cm 22W/8534G00 woofer uit de Discovery lijn van Scan-Speak.

HYBRIDE EINDVERSTERKER KIT

Ook van Nederlandse origine is het in Eindhoven gevestigde Tentlabs dat vorig jaar een zelfbouw CD-speler introduceerde en sindsdien haar product portfolio gestaag aan het uitbreiden is. Onmiskenbaar is de affiniteit met buizen, want veel van de producten van Tentlabs hebben iets met buizen van doen. Zo is samen met Menno van der Veen de E-choke ontwikkeld, een electronisch alternatief voor de bekende smoorspoel die vrijwel in iedere buizenversterker is terug te vinden. Met een rimpelonderdrukking van maar liefst 60dB en een formaat waar een normale smoorspoel niet aan kan tippen is dit een goed voorbeeld van hoe moderne technieken met oude technieken gecombineerd kunnen worden voor een nóg beter resultaat.

Een goed voorbeeld daarvan is ook de hybride eindversterker die in kit vorm verkrijgbaar is. De gehele voortrap daarvan bestaat uit buizen terwijl de eindtrap gevormd wordt door een UcD400, inderdaad, da's een combinatie van klasse-D versterkertechniek met buizen. De in triode geschakelde voorversterker wordt door middel van een trafokoppeling op de UcD400 modules aangesloten, waarbij de voorversterker van de UcD400 wordt uitgeschakeld en de klasse-D eindtrap direct wordt aangestuurd.

Meer informatie: www.tentlabs.com



De Tentlabs E-choke, het electronische equivalent van een smoorspoel.



De Tentlabs Hybride UcD printen, kant en klaar opgebouwd.

Losse nummerprijs :

Nederland	€ 8,20
België	€ 8,20

Abonnementen: Riet Maussen
e-mail: abonnementen@elektor.nl

Bestellingen/verkoop: Nicolle vd Bosch
e-mail: verkoop@elektor.nl

Standaard-jaarabonnement

Nederland:		€ 79,50
België:		€ 81,50
buitenland:		
priority-mail	Europa	€ 122,00
	buiten Europa	€ 156,00
standard-mail	Europa	€ 107,00
	buiten Europa	€ 128,00
studie-abonnement		-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

ABO-PLUS-jaarabonnement

Nederland:		€ 97,00
België:		€ 99,00
buitenland:		
luchtpost	Europa	€ 139,50
	buiten Europa	€ 173,50
surface-mail	Europa	€ 124,50
	buiten Europa	€ 145,50
studie-abonnement		-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

Een abonnement kan op ieder gewenst tijdstip ingaan en loopt automatisch door, tenzij het 2 maanden voor de vervaldatum schriftelijk is opgezegd. De snelste en goedkoopste manier om een nieuw abonnement op te geven is die via de antwoordkaart in dit blad. Reeds verschenen nummers op aanvraag leverbaar (huidige losse-nummerprijs geldt).

Adreswijzigingen s.v.p. minstens 3 weken van tevoren opgeven met vermelding van oude en nieuwe adres en het abonneenummer.
De afdeling klantenservice is bereikbaar: maandag t/m donderdag van 08.30 tot 17.00 uur, vrijdag van 08.30 tot 12.30 uur

Voor al uw vragen over abonnementen, kunt u deze afdeling bellen onder nummer 046 - 4389424.

Voor bestellingen belt u : 046-4389414

Voor het afhandelen van uw abonnement of bestelling vraagt Uitgeversmaatschappij Segment uw persoonsgegevens. Het klantenbestand van Segment is als persoonsregistratie aangemeld bij het College Bescherming Persoonsgegevens onder nr. M 1024093.

De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit doorgeven aan:
Elektor International Media BV, Afdeling Lezersmarkt, Postbus 11, 6114 ZG Susteren.

Prijswijzigingen voorbehouden.

COLOFON

Elektor Audio Special
December 2009

Elektor wil mensen inspireren om zich elektronica eigen te maken door het presenteren van bouwbeschrijvingen en door het signaleren van ontwikkelingen in de elektronica en technische informatica.

Elektor is een uitgave van Elektor International Media BV
Allee 1, Limbricht
Postbus 11, 6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46-4389444,
Fax +31 (0)46-4370161

Elektor verschijnt elf maal per jaar, in juli/augustus verschijnt een dubbelnummer.
Onder de naam Elektor verschijnen Engelstalige, Franstalige en Duitstalige edities. Elektor is in meer dan 50 landen verkrijgbaar.

Internationaal hoofdredacteur:
Wisse Hettinga

Redactie Elektor Special:
Femke van der Putten,
ir. Menno van der Veen (freelance),
ir. Sander Sassen (freelance)

Redactie:
Harry Baggen (hoofdred.),
Thijs Beckers (redactie@elektor.nl)

Internationale redactie:
Jan Buiting, Ernst Krempelsauer,
Jens Nickel, Clemens Valens

Redactiesecretariaat:
Hedwig Hennekens

Technische redactie:
Ton Giesberts, Antoine Authier,
Luc Lemmens, Christian Vossen

Vormgeving:
Option One, Amsterdam

Directeur:
Paul Snakkers

Uitgever Elektor Special:
Ferdinand te Walvaart

Marketing:
Carlo van Nistelrooy

Abonnementen:
Riet Maussen
(abonnementen@elektor.nl)
Tel. 046-4389424

Bestellingen:
Nicolle v.d. Bosch
(verkoop@elektor.nl)
Tel. 046-4389414

Hoofd advertentieverkoop:
Frank van de Raadt
(advertenties@elektor.nl)
Tel. 046-4389444

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kostenloos verkrijgbaar.

Druk: Printec Offset, Kassel (D)
Distributie: Betapress, Gilze

